

А. А. Переверзев, В. Е. Пониматкин, А. Я. Шпилевой  
Ю. Ф. Болтнев, Г. В. Квитко

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КАНАЛА СУДОВОЙ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ В РЕЖИМЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

64

Статья посвящена определению методических подходов к разработке систем многоканальной дуплексной радиосвязи, обеспечивающих надежное функционирование в условиях надводного судна. Получены аналитические выражения для расчета возможного количества приемо-передающих каналов в модели в зависимости от ширины спектра сигнала в канале. Предложенная программа для ЭВМ позволяет оперативно производить расчет параметров системы связи.

The article is devoted to the definition of methodological approaches to the development of multi-channel duplex radio communication systems that ensure reliable operation on a surface vessel. The research provides analytical expressions for the calculation of the possible number of transmit-receive channels in the model, depending on the signal spectrum width in the channel. The proposed software allows you to quickly calculate the parameters of the communication system.

**Ключевые слова:** система радиосвязи, приемо-передающий канал, ширина спектра сигнала, надводное судно, алгоритм расчета.

**Keywords:** radio-communication system, a receiving-transmitting channel, the width of the signal spectrum, surface vessel, the calculation algorithm.

Совершенствование системы управления надводным судном в значительной степени зависит от системы связи, которая должна быть гарантированной [1; 2], то есть охватывать радиочастотный спектр, который нельзя полностью подавить естественными или преднамеренными помехами.

Для достижения положительных результатов при разработке многоканальных дуплексных систем радиосвязи полезно выполнить модельные исследования на предмет оценки потенциальных возможностей системы по количеству организуемых каналов в зависимости от ограничений по ширине спектра сигнала в канале. Для этого потребуется разработать алгоритм расчета возможного количества каналов ( $N$ ) в конкретной модели с учетом ограничений, налагаемых на ширину спектра сигнала в канале ( $\Delta F_c$ ).

Следует принять во внимание, что среди задач проводимого моделирования – снижение ширины спектра сигнала в канале и создание максимально узкополосной системы для повышения ее помехозащищенности [1–4]. Для этого целесообразно определить количество каналов, необходимых для организации бесперебойной радиосвязи судна, находящегося в открытом море, и исходя из этого оценить ширину



спектра сигнала, занимаемую им в радиоканале [5]. По составленному алгоритму потребуется предусмотреть обратный расчет, а на его основе разработать программу для ЭВМ по расчету ширины спектра сигнала при определенном количестве организуемых каналов. Во всех случаях будет использоваться принцип двойного кодирования каналов [1; 2].

Количество возможных каналов на основе разработанных моделей определим, используя следующую последовательность расчетов.

1. Находим минимальную длительность дискретного импульса (далее элементарный дискретный импульс) –  $\Delta t$  при ограниченной ширине спектра сигнала в канале:

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot \Delta F_c}, \text{ с},$$

где  $\Delta F_c$  – ширина спектра сигнала в канале (Гц).

2. Находим возможное количество элементарных дискретных импульсов ( $n$ ), которые могут быть размещены в рассматриваемом временном интервале – обрабатываемом периоде информации ( $T_{обр}$ ):

$$n = \frac{T_{обр}}{\Delta t}. \quad (1)$$

В нашем случае  $T_{обр}$  равен 1 с, поэтому выражение (1) будет иметь вид

$$n = 1/\Delta t,$$

где  $\Delta t$  – длительность элементарного дискретного импульса (с).

3. Рассчитаем количество возможных каналов ( $M$ ), организуемых на основе разработанной модели:

$$N = \frac{n}{i}, \quad (2)$$

где  $i$  – количество элементарных импульсов в составе кодированного приемо-передающего (дуплексного канала) канала с учетом защитных интервалов.

Количество элементарных импульсов ( $i$ ) в выражении (2) напрямую зависит от количества организуемых каналов, так как количество каналов определяет:

- расстояние между импульсами ( $\tau_{рас}$ );
- длительность информационного импульса ( $\tau_{инф}$ ) последнего канала.

Для расчета количества элементарных импульсов ( $i$ ) в составе приемо-передающего канала необходимо определить его структуру. В соответствии с принципом кодирования формы сигнала в разработанной модели распределение элементарных дискретных импульсов будет проводиться по следующей закономерности:

$$i = \tau_{такт} + \tau_{рас} + \tau_{такт} + \tau_{рас} + \tau_{инф(посл.канала)} + \tau_{защ}, \quad (3)$$



где, согласно разработанной модели,  $\tau_{рас}$  кратно  $\tau_{такт}$  и определяется как

$$\tau_{рас} = N \cdot \tau_{такт} \quad (4)$$

$t_{защ}$  — защитный интервал, равный 8 элементарным дискретным импульсам:  $8 \cdot \Delta t$ ; длительность информационного импульса последнего канала ( $\tau_{инф. (посл. канала)}$ ) определяется произведением количества организуемых каналов ( $N$ ) на длительность информационного импульса первого канала ( $\tau_{инф}$ ) и определяется как

$$\tau_{инф(посл. канала)} = N \cdot \tau_{инф} \quad (5)$$

С учетом формул (4), (5) выражение (3) будет иметь вид

$$\begin{aligned} i &= \tau_{такт} + N \cdot \tau_{такт} + \tau_{такт} + N \cdot \tau_{такт} + N \cdot \tau_{инф} + \tau_{защ} = \\ &= 2 \cdot \tau_{такт} + 2 \cdot N \cdot \tau_{такт} + N \cdot \tau_{инф} + \tau_{защ}. \end{aligned} \quad (6)$$

Поскольку в одном приеме-передающем канале размещен и прямой, и обратный каналы, то количество импульсов удваивается. В результате общее количество элементарных импульсов ( $i$ ) в составе приема-передающего канала определяется следующим образом:

$$i = 2(2 \cdot \tau_{такт} + 2N \cdot \tau_{такт} + N \cdot \tau_{инф} + \tau_{защ}). \quad (7)$$

Информационный импульс состоит из 50 элементарных дискретных импульсов, длительность которых определяется шириной спектра сигнала в канале ( $\Delta t$ ).

В состав длительности тактовых импульсов ( $\tau_{такт}$ ) входят элементарные дискретные импульсы —  $\Delta t$ . В зависимости от устройств, применяемых для селекции сигналов, их количество может быть равно 1, 2, 3, 4, 5 и т.д. При  $\tau_{такт} = 5 \cdot \Delta t$  селекцию осуществить достаточно просто. При  $\tau_{такт} = 1 \cdot \Delta t$  потребуется большая точность избирательных систем (то есть селекции), вероятность ошибки существенно повышается.

В зависимости от состава тактового импульса общее количество элементарных импульсов ( $i$ ) в приеме-передающем канале будет определяться следующими выражениями:

а) при  $\tau_{такт} = 1 \cdot \Delta t$ :

$$\begin{aligned} i &= 2(2 \cdot 1 + 2 \cdot N \cdot 1 + N \cdot 50 + 8), \\ i &= 2(2 + 2 \cdot N + 50 \cdot N + 8), \\ i &= 2(52 \cdot N + 10), \\ i &= 104 \cdot N + 20; \end{aligned}$$

б) при  $\tau_{такт} = 2 \cdot \Delta t$ :

$$\begin{aligned} i &= 2(2 \cdot 2 + 2 \cdot N \cdot 2 + N \cdot 50 + 8), \\ i &= 2(4 + 4 \cdot N + 50 \cdot N + 8), \\ i &= 2(54 \cdot N + 12), \\ i &= 108 \cdot N + 24; \end{aligned}$$

в) при  $\tau_{такт} = 3 \cdot \Delta t$ :

$$\begin{aligned} i &= 2(2 \cdot 3 + 2 \cdot N \cdot 3 + N \cdot 50 + 8), \\ i &= 2(6 + 6 \cdot N + 50 \cdot N + 8), \\ i &= 2(56 \cdot N + 14), \\ i &= 112 \cdot N + 28; \end{aligned}$$



г) при  $\tau_{\text{такт}} = 4 \cdot \Delta t$ :

$$\begin{aligned}i &= 2(2 \cdot 4 + 2 \cdot N \cdot 4 + N \cdot 50 + 8), \\i &= 2(8 + 8 \cdot N + 50 \cdot N + 8), \\i &= 2(58 \cdot N + 16), \\i &= 116 \cdot N + 32;\end{aligned}$$

д) при  $\tau_{\text{такт}} = 5 \cdot \Delta t$ :

$$\begin{aligned}i &= 2(2 \cdot 5 + 2 \cdot N \cdot 5 + N \cdot 50 + 8), \\i &= 2(10 + 10 \cdot N + 50 \cdot N + 8), \\i &= 2(60 \cdot N + 18), \\i &= 120 \cdot N + 36.\end{aligned} \quad (8)$$

Расчеты, выполненные с учетом формул (6), (7) и проведенные для граничных значений  $\tau_{\text{такт}}$  равных  $\Delta t$  и  $5\Delta t$ , показывают, что при использовании  $\tau_{\text{такт}} = \Delta t$  дает незначительный выигрыш в количестве каналов по сравнению с  $\tau_{\text{такт}} = 5\Delta t$  (на каждые 20 каналов дополнительно может быть организован еще только 1 канал). Следовательно, с учетом усложнения избирательной системы при малых  $\tau_{\text{такт}}$  самой оптимальной длительностью тактовых импульсов является  $5\Delta t$ . Тогда количество элементарных импульсов ( $i$ ) будет определяться выражениями (8), а общая длительность каждого приемо-передающего канала ( $T$ ) — произведением количества элементарных импульсов ( $i$ ) на их длительность ( $\Delta t$ ).

В таком случае выражение (2) будет иметь вид

$$N = \frac{n}{i} = \frac{2 \cdot \Delta F_C}{(120 \cdot N + 36)}. \quad (9)$$

После преобразования выражения (9) получим

$$120 \cdot N^2 + 36 \cdot N - 2 \cdot \Delta F_C = 0. \quad (10)$$

Решив уравнение (10) и подставив значения ширины спектра сигнала в канале ( $\Delta F_C$ ), получим количество каналов в заданной полосе ( $N$ ).

На основании этого возможно также произвести расчет времени, занимаемого одним приемо-передающим каналом в общем интервале времени обрабатываемого периода информации с учетом выражения  $T = i \cdot \Delta t$ .

Для наглядности полученной модели с двойным кодированием каналов целесообразно построить график зависимости числа каналов ( $N$ ) от ширины спектра сигнала ( $\Delta F$ ). Построение графика потребует преобразования выражения в функцию зависимости одной переменной через другую. Уравнение, связывающее число каналов ( $N$ ) и ширину спектра сигнала ( $\Delta F$ ), примет вид

$$\Delta F_C = 60 \cdot N^2 + 18 \cdot N. \quad (11)$$

График, построенный по уравнению (11), будет представлять собой зависимость количества каналов ( $M$ ) от ширины спектра сигнала ( $\Delta F$ ) для длительности тактового импульса ( $\tau_{\text{такт}}$ ), равного  $5\Delta t$  (рис. 1). Аналогичная функциональная зависимость при  $\tau_{\text{такт}} = 1$  определится выражением

$$\Delta F_C = 52 \cdot N^2 + 10 \cdot N. \quad (12)$$



Промежуточные графики значений длительности тактовых импульсов ( $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ,  $4\Delta t$ ) будут располагаться между графиками, построенными между функциями, определяемыми из уравнений (11), (12).

Для оптимизации процедуры целесообразно разработать программу для ЭВМ, производящую расчеты числа каналов ( $N$ ) в зависимости от ширины спектра сигнала ( $\Delta F$ ) и выполняющую решение обратной задачи.

Во время разработки программы учитывается, что при задании параметров  $\Delta F_{\text{сигн}}$ ,  $T_{\text{обр}}$ , не только вычисляется конечное значение ( $N$ ), но и выдаются результаты промежуточных параметров  $\Delta t$ ,  $B_{\text{в канале}}$ .

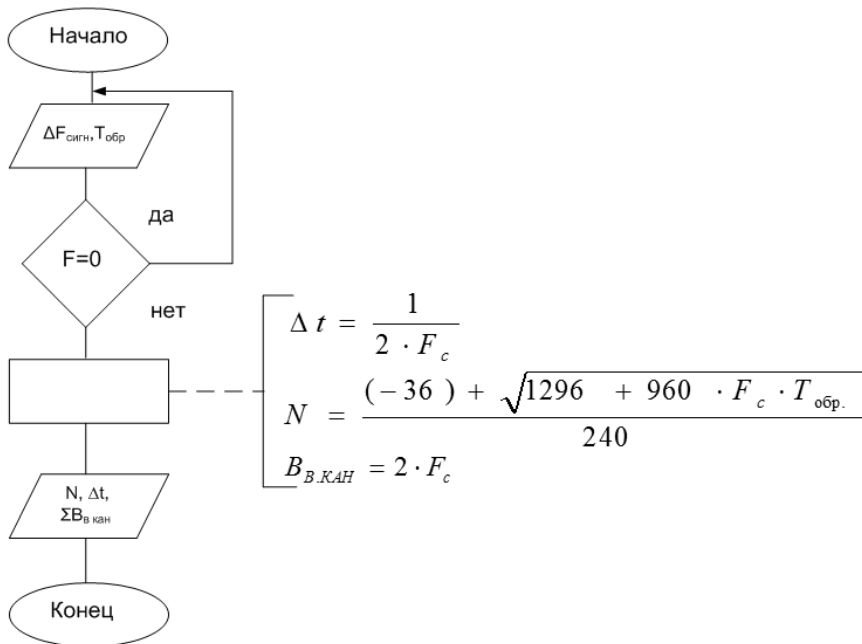


Рис. 1. Алгоритм программы по расчету числа каналов при длительности тактового импульса  $5\Delta t$

Данный вариант программы имеет подпрограмму с обратным расчетом параметров, алгоритм которой представлен на рисунке 2. В этом случае при задании параметров  $M$ ,  $T_{\text{обр}}$  вычисляется значение  $\Delta F_{\text{сигн}}$ ,  $\Delta t$ ,  $B_{\text{в канале}}$ .

Алгоритм программы по расчету количества каналов ( $N$ ) от ширины спектра сигнала ( $\Delta F$ ) для нефиксированного значения длительности тактового импульса представлен на рисунке 3.

В этом случае также учитывается, что при задании параметров  $\Delta F_{\text{сигн}}$ ,  $T_{\text{обр}}$ ,  $\tau_{\text{такт}}$  не только вычисляется значение ( $N$ ), но и выдаются результаты промежуточных параметров  $\Delta t$ ,  $B_{\text{в канале}}$ .

Данный вариант программы также имеет подпрограмму, которая предусматривает обратный расчет параметров. Ее алгоритм представлен на рисунке 4.

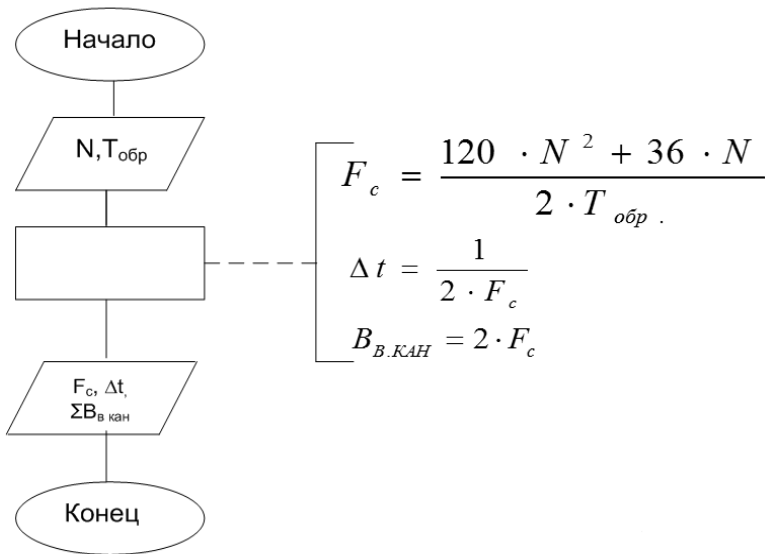


Рис. 2. Алгоритм программы по расчету ширины спектра при длительности тактового импульса  $5\Delta t$

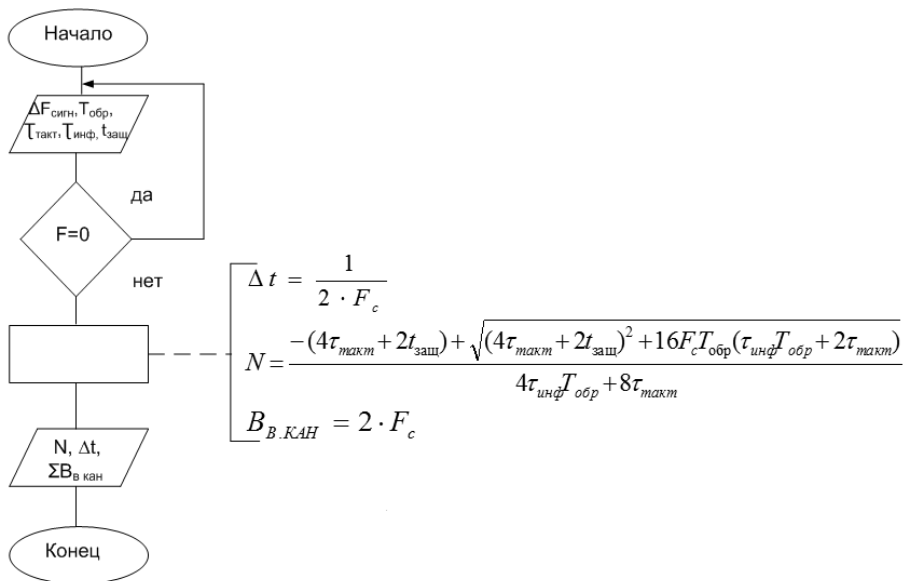


Рис. 3. Алгоритм программы по расчету числа каналов для тактового импульса произвольной длительности

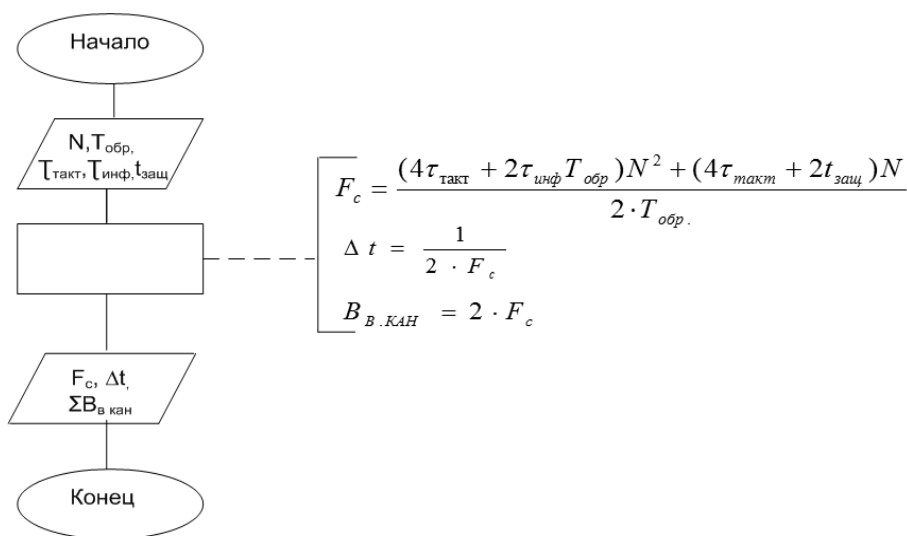


Рис. 4. Алгоритм программы по расчету ширины спектра для нефиксированного значения длительности тактового импульса

В данной подпрограмме при задании параметров  $N, T_{обр}, \tau_{такт}$  вычисляются значения  $\Delta F_{сигн}, \Delta t, B_{в\ канале}$ .

Некоторые расчеты числа потенциально возможных каналов ( $N$ ) в зависимости от ширины спектра сигнала в канале ( $\Delta F$ ) для одно- и трехимпульсной модели приведены в таблице.

**Результаты расчетов количества возможных каналов ( $N$ ) в зависимости от ширины спектра сигнала в канале ( $\Delta F$ )**

$\Delta F$	$N$ (одноимпульсная модель – потенциальные возможности канала)	$N$ (трехимпульсная модель)
25 кГц ( $\Delta t = 20$ мкс)	431	20
6,5 кГц ( $\Delta t = 77$ мкс)	111	10
1 кГц ( $\Delta t = 500$ мкс)	17	3

Таким образом, исследована модель с двойным кодированием каналов. Полученные аналитические выражения наглядно отображают зависимость количества приемо-передающих каналов в модели от ширины спектра сигнала в канале. Разработанные программы для ЭВМ позволяют оперативно проводить расчеты параметров модели. В одной из программ предусмотрено фиксированное значение длительности тактового импульса, равное пяти минимальным дискретным импульсам, а в другой – значение длительности тактового импульса вводится пользователем. Программы имеют подпрограммы, позволяющие производить расчет в обратном порядке.



### Список литературы

1. Катанович А. А. Комплексы и системы связи надводных кораблей. СПб., 2006.
2. Виниченко А. И. Теория тракта распространения радиоволн линий радиосвязи. Л., 1984.
3. Vinoy K. J., Pal A. Dual-Frequency Characteristics of Minkowski-Square Ring Antennas // IET Microw. Antennas Propag. 2010. Vol. 4, iss. 2. P. 219–224.
4. Stutzman W. L., Tiele G. A. Antenna Theory and Design. N. Y., 2013.
5. Balanis C. A. Modern Antenna Handbook. N. Y., 2008.

### Об авторах

Степан Александрович Переверзев – адъюнкт, Калининградский филиал Военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия», Россия.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Виктор Ефимович Пониматкин – канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Россия.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Алексей Яковлевич Шпилевой – канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Россия.

E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Юрий Фёдорович Болтнев – доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Россия.

E-mail: JBoltnev@kantiana.ru

Геннадий Васильевич Квитко – канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Россия.

E-mail: GKvitko@kantiana.ru

### The authors

Stepan A. Pereverzev, PhD Student, Kaliningrad Branch of Military Educational and Scientific Centre «Naval Academy», Russia.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Dr Viktor E. Ponimatkin, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Dr Aleksey Ya. Shpilevoy, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Jury F. Boltnev, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: YBoltnev@kantiana.ru

Dr Gennadyi V. Kvitko, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: GKvitko@kantiana.ru