

ческого и нефтегазового машиностроения, допускает автономное использование как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации для оперативного мониторинга остаточного ресурса оборудования. С его помощью возможны постановка и практическое решение задач оптимизации циклического термомеханического воздействия на рассматриваемые конструкции.

Литература

1. Луганцев Л.Д., Черненко М.О. Компьютерный анализ несущей способности и ресурса трубчатых элементов конструкций при малоцикловом нагружении // «Известия МГТУ МАМИ», № 2 (14), том 4, 2012, с. 162-166.

Модели исходов приема информации для кодов, не содержащих нулевого сигнального признака

д.т.н. проф. Львов А.А., д.т.н. доц. Светлов М.С., Руденко А.Е., Ульянина Ю.А.
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
89271532577, lordae@yandex.ru

Аннотация. Совершенствование технологических процессов информационно-управляющих систем определяет повышенные требования к информационной надежности систем, характеризующейся вероятностями исходов приема информации. С целью обеспечения высоких показателей по достоверности передачи широко используются длинные недвоичные коды, представляющие собой псевдослучайные последовательности. Наиболее предпочтительными среди них с точки зрения помехоустойчивости являются коды, не содержащие нулевого сигнального признака. В данной работе оцениваются вероятности исходов приема информации для различных моделей каналов связи с кодами без нулевого сигнального признака.

Ключевые слова: псевдослучайная последовательность, модель исходов приема информации, канал связи.

При построении и эксплуатации систем передачи информации важным является определение вероятностей исходов при приеме информации. Аналитически получить значения вероятностей исходов приема можно с помощью математического моделирования каналов связи.

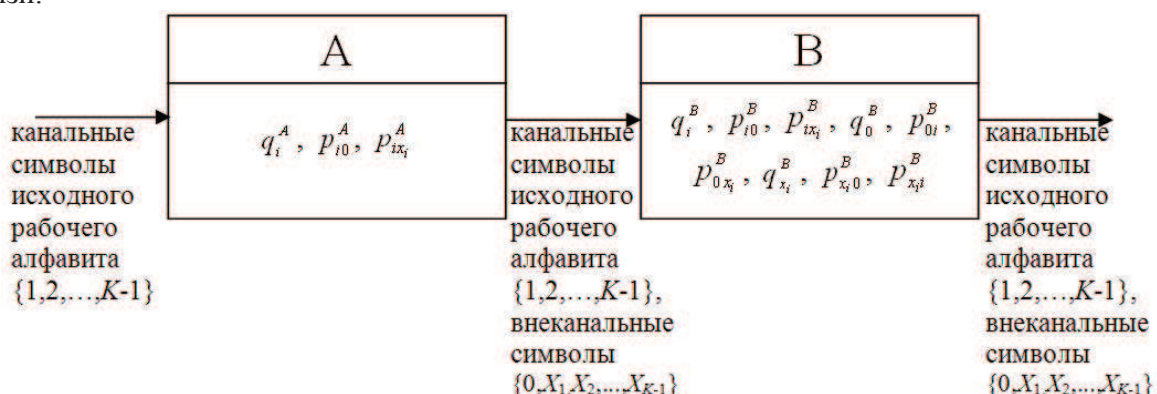


Рисунок 1. Структурная схема несимметричного K -канала без нуля с ошибками трансформации и стирания

В отличие от традиционного представления моделей каналов связи [1, 2], предложены каскадные модели в виде последовательного соединения двух моделей каналов, в каждом из

которых возможна лишь однократная ошибка. Вероятности правильного приема, трансформаций и стираний в первом каскаде модели (канале A) обозначим верхним индексом "A", а аналогичные вероятности во втором каскаде модели (канале B) – индексом "B" [3]. Структурная схема такой модели K -ичного канала, в котором используются коды, не содержащие нулевого сигнального признака (далее K -каналы без нуля), представлена на рисунке 1. В соответствии с принятым вариантом структуры модели математическая модель несимметричного K -канала без нуля может быть представлена в виде:

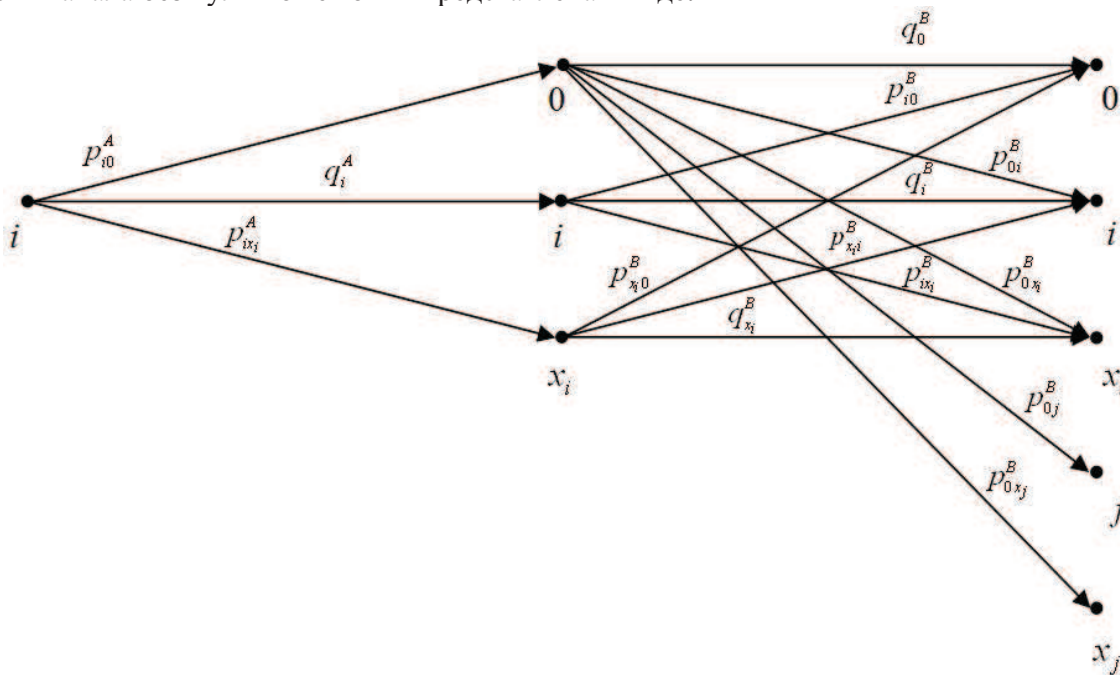


Рисунок 2. Математическая модель несимметричного K -канала без нуля с ошибками трансформации и стирания

$$q_i^A (q_i^B + p_{i0}^B + p_{ix_i}^B) + p_{i0}^A (q_0^B + p_{0i}^B + p_{0x_i}^B) + p_{ix_i}^A (q_{x_i}^B + p_{x_i0}^B + p_{x_i i}^B) = 1, \quad i, j \in \overline{1, K-1}, \quad i \neq j. \quad (1)$$

Здесь q_0^B – вероятность правильного приема нулевого символа в канале B ; q_i^A , q_i^B – вероятности правильного приема токовых символов в каналах A и B соответственно; $q_{x_i}^B$ – вероятность правильного приема стертых символов в канале B ; p_{i0}^A , p_{i0}^B – вероятности возникновения ошибок трансформации на токовых символах в каналах A и B соответственно; p_{0i}^B – вероятность возникновения ошибки трансформации на нулевом символе в канале B ; $p_{ix_i}^A$, $p_{ix_i}^B$ – вероятности возникновения ошибок стирания на токовых символах в каналах A и B соответственно; $p_{0x_i}^B$ – вероятность возникновения ошибки стирания на нулевом символе в канале B ; $p_{x_i0}^B$, $p_{x_i i}^B$ – вероятности возникновения ошибок стирания на стертых символах в канале B .

Для канала с ошибками трансформации и стирания характерны следующие режимы: режим исправления ошибок стирания и обнаружения ошибок трансформации, режим исправления ошибок обоих типов, режим исправления ошибок обоих типов и обнаружения ошибок трансформации.

Математическая модель исходов приема информации для общего случая несимметричного K -канала без нуля с ошибками трансформации и стирания в режиме исправления s ошибок трансформации, e ошибок стирания и обнаружения r ошибок трансформации

($d_{\min} = s + e + r + 1$, причем $s < r$):

$$P_{\text{пр}} = \sum_{\gamma_T=0}^e \sum_{\xi_T=0}^s C_{n_T}^{\gamma_T} C_{n_T-\gamma_T}^{\xi_T} p_{ix_i}^{\gamma_T} p_{i0}^{\xi_T} \left(1 - q_i^A(p_{i0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i0}^A(q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A(q_{x_i}^B + p_{x_i0}^B)\right)^{2n_T - \gamma_T - \xi_T}, \quad (2)$$

где d_{\min} – минимальное кодовое расстояние; n_T – длина (разрядность) кода.

$$P_{\text{з.о.}} = \sum_{\gamma_T=0}^e \sum_{\xi_T=s+1}^r C_{n_T}^{\gamma_T} C_{n_T-\gamma_T}^{\xi_T} p_{ix_i}^{\gamma_T} p_{i0}^{\xi_T} \left(1 - q_i^A(p_{i0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i0}^A(q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A(q_{x_i}^B + p_{x_i0}^B)\right)^{2n_T - \gamma_T - \xi_T} + \\ + \sum_{\mu_T=e+1}^{n_T} \sum_{\nu_T=0}^{n_T} A_{\mu_T} A_{\nu_T} p_{x_i0}^{\mu_T} p_{i0}^{\nu_T} \left(1 - q_i^A(p_{i0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i0}^A(q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A(q_{x_i}^B + p_{x_i0}^B)\right)^{2n_T - \mu_T - \nu_T} + \\ + \sum_{l_T=0}^{n_T} \sum_{t_T=r+1}^{n_T} C_{l_T} C_{t_T} p_{ix_i}^{l_T} p_{i0}^{t_T} \left(1 - q_i^A(p_{i0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i0}^A(q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A(q_{x_i}^B + p_{x_i0}^B)\right)^{2n_T - l_T - t_T}, \quad (3)$$

$$P_{\text{л.пр.}} = \sum_{\mu_T=e+1}^{n_T} \sum_{\nu_T=0}^{n_T} B_{\mu_T} B_{\nu_T} p_{x_i0}^{\mu_T} p_{i0}^{\nu_T} \left(1 - q_i^A(p_{i0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i0}^A(q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A(q_{x_i}^B + p_{x_i0}^B)\right)^{2n_T - \mu_T - \nu_T} + \\ + \sum_{l_T=0}^{n_T} \sum_{t_T=r+1}^{n_T} D_{l_T} D_{t_T} p_{ix_i}^{l_T} p_{i0}^{t_T} \left(1 - q_i^A(p_{i0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i0}^A(q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A(q_{x_i}^B + p_{x_i0}^B)\right)^{2n_T - l_T - t_T}. \quad (4)$$

Количество возможных вариантов ошибок стирания, превышающее корректирующую способность кода, определяется соотношениями:

$$A_{\mu_T} + B_{\mu_T} = C_{n_T}^{\mu_T}, \quad (5)$$

а количество возможных вариантов ошибок трансформации на оставшихся не искаженными ошибками стирания разрядах записывается:

$$A_{\nu_T} + B_{\nu_T} = C_{n_T - \mu_T}^{\nu_T}. \quad (6)$$

Количество возможных вариантов ошибок трансформации, превышающее корректирующую способность кода, определяется как:

$$C_{l_T} + D_{l_T} = C_{n_T}^{l_T}, \quad (7)$$

а количество возможных вариантов ошибок на оставшихся не искаженными ошибками трансформации разрядах записывается:

$$C_{t_T} + D_{t_T} = C_{n_T - l_T}^{t_T}, \quad (8)$$

Коэффициенты A_{μ_T} , B_{μ_T} , A_{ν_T} , B_{ν_T} , C_{l_T} , D_{l_T} , C_{t_T} , D_{t_T} определяются в результате анализа структуры используемого кода, с учетом числа рабочих кодовых слов из полного рабочего кодового множества.

Математическая модель исходов приема информации для общего случая несимметричного K -канала без нуля с ошибками трансформации и стирания в режиме исправления e -кратных ошибок стирания и s -кратных ошибок трансформации ($d_{\min} = 2s + e + 1$):

$$P_{\text{пр}} = \sum_{\gamma_T=0}^e \sum_{\xi_T=0}^s C_{n_T}^{\gamma_T} C_{n_T-\gamma_T}^{\xi_T} p_{ix_i}^{\gamma_T} p_{i0}^{\xi_T} \left(1 - q_i^A(p_{i0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i0}^A(q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A(q_{x_i}^B + p_{x_i0}^B)\right)^{2n_T - \gamma_T - \xi_T}, \quad (9)$$

$$P_{\text{з.о.}} = \sum_{\mu_T=e+1}^{n_T} \sum_{\nu_T=0}^{n_T} A_{\mu_T} A_{\nu_T} p_{x_i0}^{\mu_T} p_{i0}^{\nu_T} \left(1 - q_i^A(p_{i0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i0}^A(q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A(q_{x_i}^B + p_{x_i0}^B)\right)^{2n_T - \mu_T - \nu_T} + \\ + \sum_{l_T=0}^{n_T} \sum_{t_T=s+1}^{n_T} C_{l_T} C_{t_T} p_{ix_i}^{l_T} p_{i0}^{t_T} \left(1 - q_i^A(p_{i0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i0}^A(q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A(q_{x_i}^B + p_{x_i0}^B)\right)^{2n_T - l_T - t_T}, \quad (10)$$

$$P_{\text{л.пр.}} = \sum_{\mu_T=e+1}^{n_T} \sum_{\nu_T=0}^{n_T} B_{\mu_T} B_{\nu_T} p_{x_i 0}^{\mu_T} p_{i 0}^{\nu_T} \left(1 - q_i^A (p_{i 0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i 0}^A (q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A (q_{x_i}^B + p_{x_i 0}^B)\right)^{2n_T - \mu_T - \nu_T} + \sum_{l_T=0}^{n_T} \sum_{l_T=s+1}^{n_T} D_{l_T} D_{l_T} p_{ix_i}^{l_T} p_{i 0}^{l_T} \left(1 - q_i^A (p_{i 0}^B + p_{ix_i}^B) - p_{i 0}^A (q_0^B + p_{0x_i}^B) - p_{ix_i}^A (q_{x_i}^B + p_{x_i 0}^B)\right)^{2n_T - l_T - l_T} . \quad (11)$$

При этом справедливы выражения (5) – (8).

Из общего случая математической модели К-канала без нуля с ошибками обоих типов легко получить частные случаи – модели К-каналов без нуля только с ошибками трансформации и только с ошибками стирания.

Математическая модель несимметричного К-канала без нуля с ошибками стирания имеет вид:

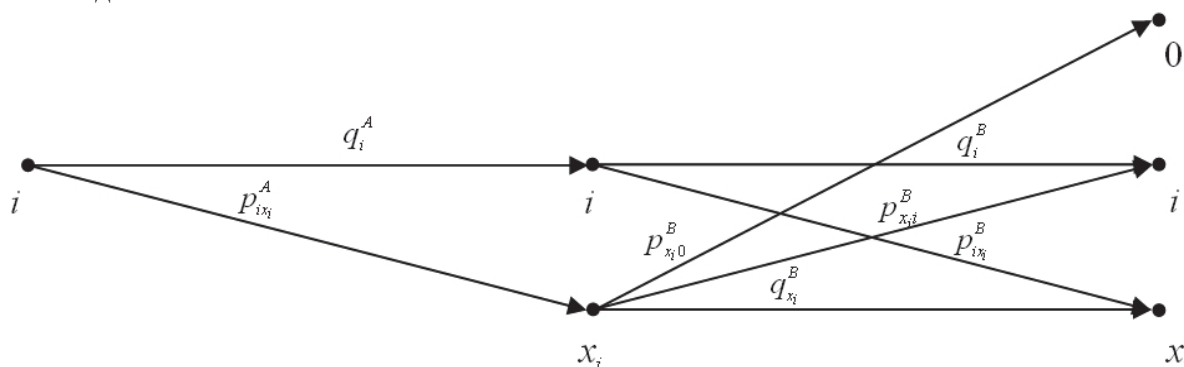


Рисунок 3. Математическая модель несимметричного К-канала без нуля с ошибками стирания

$$q_i^A (q_i^B + p_{ix_i}^B) + p_{ix_i}^A (q_{x_i}^B + p_{x_i 0}^B + p_{x_i i}^B) = 1, \quad i, j \in \overline{1, K-1}, \quad i \neq j . \quad (12)$$

Для канала с ошибками стирания (без трансформации) характерен только один режим – режим исправления ошибок стирания ($d_{\min} = e + 1$). Математическая модель К-канала без нуля в режиме исправления ошибок стирания:

$$P_{\text{пр}} = \sum_{\gamma_T=0}^e C_{n_T}^{\gamma_T} p_{ix_i}^{\gamma_T} \left(1 - q_i^A p_{ix_i}^B - p_{ix_i}^A (q_{x_i}^B + p_{x_i 0}^B)\right)^{n_T - \gamma_T} , \quad (13)$$

$$P_{\text{з.о.}} = \sum_{\xi_T=e+1}^{n_T} A_{\xi_T} p_{x_i 0}^{\xi_T} \left(1 - q_i^A p_{ix_i}^B - p_{ix_i}^A (q_{x_i}^B + p_{x_i 0}^B)\right)^{n_T - \xi_T} , \quad (14)$$

$$P_{\text{л.пр.}} = \sum_{\xi_T=e+1}^{n_T} B_{\xi_T} p_{x_i 0}^{\xi_T} \left(1 - q_i^A p_{ix_i}^B - p_{ix_i}^A (q_{x_i}^B + p_{x_i 0}^B)\right)^{n_T - \xi_T} . \quad (15)$$

Число всех возможных вариантов ошибок, превышающих корректирующую способность кода, определится как:

$$A_{\xi_T} + B_{\xi_T} = C_{n_T}^{\xi_T} . \quad (16)$$

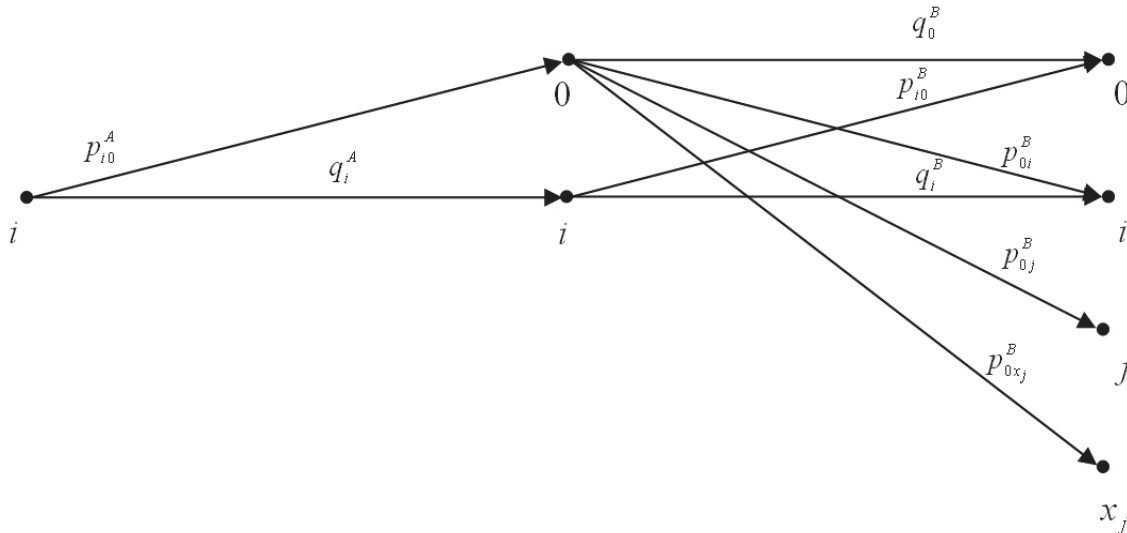
Коэффициенты A_{ξ_T} и B_{ξ_T} вычисляются исходя из структуры кода для каждого отдельно взятого кода с учетом числа используемых рабочих кодовых слов из полного рабочего множества.

Математическая модель К-канала без нуля с ошибками трансформации приведена на рисунке 4.

Для такого канала характерны режимы обнаружения ошибок, исправления ошибок, а также режим обнаружения и исправления ошибок.

Математическая модель исходов приема информации для случая несимметричного K -канала без нуля в режиме исправления ошибок трансформации ($d_{\min} = 2s + 1$) представлена соотношениями (18) – (20).

При этом справедливо соотношение (16).



$$q_i^A(q_i^B + p_{i0}^B) + p_{i0}^A(q_0^B + p_{0i}^B) = 1, \tag{17}$$

$$i, j \in \overline{1, K-1}, \quad i \neq j.$$

Рисунок 4. Математическая модель несимметричного K -канала без нуля с ошибками трансформации

$$P_{\text{пр}} = \sum_{\gamma_T=0}^s C_{n_T}^{\gamma_T} p_{i0}^{\gamma_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \gamma_T}, \tag{18}$$

$$P_{\text{з.о.}} = \sum_{\xi_T=s+1}^{n_T} A_{\xi_T} p_{i0}^{\xi_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \xi_T}, \tag{19}$$

$$P_{\text{л.пр.}} = \sum_{\xi_T=s+1}^{n_T} B_{\xi_T} p_{i0}^{\xi_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \xi_T}. \tag{20}$$

Математическая модель исходов приема информации для случая несимметричного K -канала без нуля в режиме обнаружения и исправления ошибок трансформации ($d_{\min} = r + s + 1, s < r$):

$$P_{\text{пр}} = \sum_{\gamma_T=0}^s C_{n_T}^{\gamma_T} p_{i0}^{\gamma_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \gamma_T}, \tag{21}$$

$$P_{\text{з.о.}} = \sum_{\gamma_T=s+1}^r C_{n_T}^{\gamma_T} p_{i0}^{\gamma_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \gamma_T} + \sum_{\xi_T=r+1}^{n_T} A_{\xi_T} p_{i0}^{\xi_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \xi_T}, \tag{22}$$

$$P_{\text{л.пр.}} = \sum_{\xi_T=r+1}^{n_T} B_{\xi_T} p_{i0}^{\xi_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \xi_T}. \tag{23}$$

При этом справедливо соотношение (16).

Математическая модель исходов приема информации для случая несимметричного K -канала без нуля в режиме обнаружения ошибок трансформации ($d_{\min} = r + 1$):

$$P_{\text{пр}} = (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T}, \quad (24)$$

$$P_{\text{з.о.}} = \sum_{\gamma_T=1}^r C_{n_T}^{\gamma_T} p_{i0}^{\gamma_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \gamma_T} + \sum_{\xi_T=r+1}^{n_T} A_{\xi_T} p_{i0}^{\xi_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \xi_T}, \quad (25)$$

$$P_{\text{л.пр.}} = \sum_{\xi_T=r+1}^{n_T} B_{\xi_T} p_{i0}^{\xi_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \xi_T}. \quad (26)$$

При этом справедливо соотношение (16).

Заключение

Разработанные варианты моделей приема информации в системах передачи информации с различными типами K -каналов без нуля для всех возможных режимов приема позволяют определить вероятности исходов приема информации и определить показатели систем по достоверности передачи. Анализ вариантов моделей исходов приема дает возможность не только количественно оценить статистику систем, но и предложить наиболее эффективные методы и алгоритмы повышения их информационной надежности.

Литература

1. Голяницкий И.А. Математические модели и методы в радиосвязи / И.А. Голяницкий // Под ред. Ю.А. Громакова. – М.: Эко-трендз, 2005. – 440 с.
2. Васильев К. К., Глушков В. А., Дормидонтов А. В. Нестеренко А. Г. Теория электрической связи: учебное пособие / К. К. Васильев, В. А. Глушков, А. В. Дормидонтов, А. Г. Нестеренко; под общ. ред. К.К. Васильева. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 452 с.
3. Светлов М.С., Ульянина Ю.А. Оценка помехозащищенности сложных информационно-измерительных систем / М.С. Светлов, Ю.А. Ульянина // ММГТ-25 [текст]: сб. трудов XXV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 6. Секция 10 / под общ. ред. А.А. Большакова. – Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012; Харьков: Национ. техн. ун-т «ХПИ», 2012. – С. 175-179.

Повышение информационной надежности цифровых систем передачи информации

д.т.н. проф. Львов А.А., д.т.н. доц. Светлов М.С., Руденко А.Е., Мартынов П.В.
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.
8927153277, lordae@yandex.ru

Аннотация. В настоящей статье показано преимущество применения принципа самосинхронизации на базе динамических запоминающих устройств (ДЗУ). Предложены математическая модель и вариант реализации принципа самосинхронизации с использованием n -позиционного ДЗУ, позволяющий существенно повысить помехозащищенность цифровых систем.

Ключевые слова: цифровые сети, помехоустойчивые коды, синхронизация, самосинхронизирующиеся коды, динамическое запоминающее устройство.

Важнейшей задачей, стоящей перед разработчиками цифровых систем, является повышение уровня помехозащищенности передаваемой информации. При подготовке потока данных к передаче по каналу связи информация подвергается различным видам обработки, основными из которых являются кодирование и модуляция. В настоящее время, как правило, используются корректирующие коды в режимах исправления ошибок, позволяющие исправлять наиболее правдоподобные комбинации ошибок, возникающих в кодовых словах в результате воздействия на них определенного вида помех [1].