

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **18023**

(13) **С1**

(46) **2014.02.28**

(51) МПК

*H 04L 1/00* (2006.01)

*H 03M 13/35* (2006.01)

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ НЕРАВНОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИМВОЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ**

(21) Номер заявки: а 20100057

(22) 2010.01.19

(43) 2011.08.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(72) Авторы: Королев Алексей Иванович; Конопелько Валерий Константинович; Аль-алем Ахмед Саид; Борискевич Анатолий Антонович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(56) АЛЬ-АЛЕМ АХМЕД САИД и др. Доклады БГУИР. - 2008. - № 8(38). - С. 12-18.

RU 2007146729 А, 2009.

EP 1381179 А1, 2004.

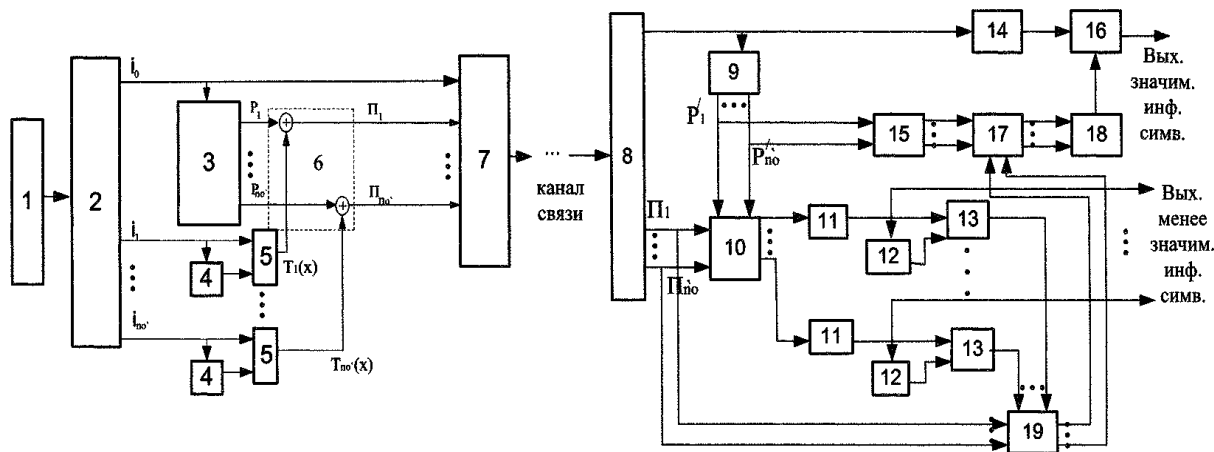
WO 02/067429 А2.

СА 2292976 А1, 2000.

EP 0991221 А2, 2000.

(57)

Устройство для неравной защиты информационных символов на основе сверточных кодов, характеризующееся тем, что содержит на передающей стороне передатчик, выходом через канал связи соединенный со входом приемника на приемной стороне, причем передатчик содержит преобразователь информационных символов,  $n'_0$ , где  $n'_0 = n_0 - 1$ ,  $n_0 \geq 2$ , кодеров самоортогональных сверточных кодов (ССК) и  $n'_0$  коммутаторов, первые входы которых объединены со входами соответствующих кодеров ССК и соединены с соответствующими выходами преобразователя информационных символов, вход которого соединен с выходом источника информации, выходы  $n'_0$  кодеров ССК соединены со вторыми входами соответствующих коммутаторов, выходы которых соединены с первыми



Фиг. 1

**ВУ 18023 С1 2014.02.28**

входами  $n_0$  сумматоров по модулю два, вторые входы которых соединены с соответствующими  $n_0$  выходами формирователя проверочных символов кодера равномерного сверточного кода (РСК), вход которого объединен с первым входом мультиплексора и соединен с первым выходом преобразователя информационных символов, выходы  $n_0$  сумматоров по модулю два соединены с соответствующими  $n_0$  входами мультиплексора, выход которого является выходом передатчика; приемник содержит первое и второе буферные устройства,  $n_0$  коммутаторов,  $n_0$  кодеров ССК и  $n_0$  декодеров ССК, входы которых соединены с соответствующими  $n_0$  выходами формирователя кодовых последовательностей ССК менее значимых информационных символов, выходы  $n_0$  декодеров ССК являются выходами приемника менее значимых информационных символов и выходами устройства и соединены с первыми входами соответствующих  $n_0$  коммутаторов и со входами соответствующих  $n_0$  кодеров ССК, выходы которых соединены со вторыми входами соответствующих  $n_0$  коммутаторов, выходы которых соединены с  $n_0$  входами второй группы формирователя принятых проверочных символов РСК,  $n_0$  входов первой группы которого объединены с  $n_0$  входами второй группы формирователя кодовых последовательностей ССК менее значимых информационных символов и соединены с  $n_0$  выходами демультимплексора принятых кодовых символов, вход которого является входом приемника, а первый выход демультимплексора соединен с первым входом корректора ошибок значимых информационных символов через первое буферное устройство, и со входом формирователя проверочных символов декодера РСК,  $n_0$  выходов которого соединены с  $n_0$  входами первой группы формирователя синдромных символов РСК через второе буферное устройство и с  $n_0$  входами первой группы формирователя кодовых последовательностей ССК менее значимых информационных символов,  $n_0$  входов второй группы формирователя синдромных символов РСК соединены с соответствующими  $n_0$  выходами формирователя принятых проверочных символов РСК, а  $n_0$  выходов формирователя синдромных символов РСК соединены с соответствующими  $n_0$  входами анализатора синдромной последовательности РСК, выход которого соединен со вторым входом корректора ошибок значимых информационных символов, выход которого является выходом приемника значимых информационных символов и выходом устройства.

---

Изобретение относится к технике электросвязи и может быть использовано в устройствах помехоустойчивого кодирования видеоданных и оцифрованных речевых сигналов при передаче по космическим и спутниковым каналам.

Известно устройство исправления пакетов ошибок, содержащее на передающей стороне кодер циклического кода, кодер сверточного (рекуррентного) кода и блок изменения порядка следования кодовых комбинаций сверточного кода, а на приемной стороне - накопитель, схемы сравнения, блоки обнаружения ошибок, сверточный декодер, блоки восстановления порядка следования кодовых комбинаций и схему сравнения [1].

Однако известному устройству присущие следующие недостатки:

передаваемые информационные символы имеют одинаковую степень защиты от ошибок,

высокая избыточность передаваемой информации, которая обусловлена способом последовательного кодирования двоичных символов циклическим и сверточным кодами.

Известно устройство для кодирования и декодирования двоичной информации сверточными кодами, содержащее на передающей стороне преобразователь входной информации, два канала кодирования, каждый из которых содержит коммутатор разделения ветвей, коммутатор объединения ветвей, кодер и сумматор по модулю два, а на приемной

стороне устройство содержит два канала декодирования, общими блоками которых являются преобразователь входной информации и два канала декодирования, каждый из которых содержит коммутатор разделения ветвей, корректор ошибок, коммутатор объединения ветвей, кодер, анализатор синдромной последовательности, первый сумматор по модулю два, кроме того первый канал декодирования содержит второй и третий сумматоры по модулю два, первый и второй буферные накопители, а второй канал декодирования содержит дополнительно объединенные по входу и последовательно соединенные кодер и коммутатор объединения ветвей [2].

Однако известному устройству присуще следующие недостатки:

передаваемые информационные символы первого и второго каналов кодирования и декодирования имеют одинаковую степень защиты от ошибок;

низкая корректирующая способность к группирующимся (пакетным) ошибкам.

Известно устройство неравной защиты информационных символов на основе равномерного сверточного кода, содержащее на передающей стороне источник информации (ИИ), формирователь проверочных символов кодера (ФПСк) равномерного сверточного кода,  $n_0 = n_0 - 1$  выходных сумматоров по модулю два и мультиплексор (МХ), а на приемной стороне, содержащее демультимплексор (ДМХ), формирователь проверочных символов декодера (ФПСд) равномерного сверточного кода, формирователь кодовых последовательностей (ФКП) менее значимых информационных символов, формирователь принятых проверочных символов (ФПр ПС) равномерного сверточного кода, формирователь синдромных символов (ФСС) равномерного сверточного кода,  $n_0 = n_0 - 1$  выходных сумматоров по модулю два, анализатор синдромной последовательности (АСП) равномерного сверточного кода и корректор ошибок (КО) значимых информационных символов [3].

Однако известное устройство неравной защиты информационных символов на основе равномерного сверточного кода обеспечивает сравнительно низкую помехоустойчивость (достоверность) передачи менее значимых информационных символов; помехоустойчивость (достоверность) передачи которых определяется вероятностными характеристиками дискретного канала связи.

Задача изобретения - повышение помехоустойчивости (достоверности) передачи менее значимых информационных символов.

Поставленная задача достигается тем, что Устройство для неравной защиты информационных символов на основе сверточных кодов, характеризующиеся тем, что содержит на передающей стороне передатчик, выходом через канал связи соединенный со входом приемника на приемной стороне, причем передатчик содержит преобразователь информационных символов  $n_0$ , где  $n_0 = n_0 - 1$ ,  $n_0 \geq 2$ , кодеров самоортогональных сверточных кодов (ССК) и  $n_0$  коммутаторов, первые входы которых объединены со входами соответствующих кодеров ССК и соединены с соответствующими выходами преобразователя информационных символов, вход которого соединен с выходом источника информации, выходы  $n_0$  кодеров ССК соединены со вторыми входами соответствующих коммутаторов, выходы которых соединены с первыми входами  $n_0$  сумматоров по модулю два, вторые входы которых соединены с соответствующими  $n_0$  выходами формирователя проверочных символов кодера равномерного сверточного кода (РСК), вход которого объединен с первым входом мультиплексора и соединен с первым выходом преобразователя информационных символов, выходы  $n_0$  сумматоров по модулю два соединены с соответствующими  $n_0$  входами мультиплексора, выход которого является выходом передатчика; приемник содержит первое и второе буферные устройства,  $n_0$  коммутаторов,  $n_0$  кодеров ССК и  $n_0$  декодеров ССК, входы которых соединены с соответствующими  $n_0$  выходами формирователя кодовых последовательностей ССК менее значимых информационных символов, выходы  $n_0$  декодеров ССК являются выходами приемника менее значимых информаци-

онных символов и выходами устройства, и соединены с первыми входами соответствующих  $n_0$  коммутаторов и со входами соответствующих  $n_0$  кодеров ССК, выходы которых соединены со вторыми входами соответствующих  $n_0$  коммутаторов, выходы которых соединены с  $n_0$  входами второй группы формирователя принятых проверочных символов РСК,  $n_0$  входов первой группы которого объединены с  $n_0$  входами второй группы формирователя кодовых последовательностей ССК менее значимых информационных символов и соединены с  $n_0$  выходами демультиплексора принятых кодовых символов,  $n_0$  вход которого является входом приемника, а первый выход демультиплексора соединен с первым входом корректора ошибок значимых информационных символов через первое буферное устройство, и со входом формирователя проверочных символов декодера РСК,  $n_0$  выходов которого соединены с  $n_0$  входами первой группы формирователя синдромных символов РСК через второе буферное устройство и с  $n_0$  входами первой группы формирователя кодовых последовательностей ССК менее значимых информационных символов,  $n_0$  входов второй группы формирователя синдромных символов РСК соединены с соответствующими  $n_0$  выходами формирователя принятых проверочных символов РСК, а  $n_0$  выходов формирователя синдромных символов РСК соединены с соответствующими  $n_0$  входами анализатора синдромной последовательности РСК, выход которого соединен со вторым входом корректора ошибок значимых информационных символов, выход которого является выходом приемника значимых информационных символов и выходом устройства.

На фиг. 1 приведена структурная схема передающей и приемной частей, на фиг. 2 - функциональная схема формирователя проверочных символов равномерного сверточного кода с параметрами:  $R = 1/4$ ,  $q_1(x) = 1 + X^3 + X^{15} + X^{19}$ ,  $q_2(x) = 1 + X^8 + X^{17} + X^{18}$ ,  $q_3(x) = 1 + X^6 + X^{11} + X^{13}$ , на фиг. 3 - функциональная схема кодера самоортогонального сверточного кода с параметрами:  $R = 1/2$ ,  $q_1(x) = 1 + X^2 + X^5 + X^6$ , на фиг. 4 - функциональная схема коммутатора, на фиг. 5 - кривые вероятностей ошибочного приема (декодирования) значимых и менее значимых информационных символов.

Устройство неравной защиты информационных символов на основе равномерного сверточного кода (фиг. 1) содержит: передатчик, состоящий из источника (1) информации, преобразователя (2) информационных символов, формирователя (3) проверочных символов кодера равномерного сверточного кода (ФПСк РСК),  $n_0 = n_0 - 1$  кодеров (4) самоортогонального сверточного кода (ССК),  $n_0 = n_0 - 1$  коммутаторов (5),  $n_0 = n_0 - 1$  выходных сумматоров (6) по модулю два и мультиплексора (7) кодовых символов, и приемник, состоящий из демультиплексора (8) кодовых символов, формирователя (9) проверочных символов декодера РСК (ФПСд РСК), формирователя (10) кодовых последовательностей ССК (ФКП ССК),  $n_0 = n_0 - 1$  декодеров (11) ССК,  $n_0 = (n_0 - 1)$  кодеров (12) ССК,  $n_0 = n_0 - 1$  коммутаторов (13), первого буферного устройства (14), второго буферного устройства (15), корректора (16) ошибок РСК (КО РСК), формирователя (17) синдромных символов РСК (ФСС РСК), анализатора (18) синдромной последовательности РСК (АСП РСК) и формирователя (19) принятых проверочных символов РСК (ФПр ПС РСК).

Устройство работает следующим образом: передаваемые информационные символы от источника (1) информации поступают на вход преобразователя (2) информационных символов, где распределяются на поток значимых и  $n_0 = n_0 - 1$  потоков менее значимых информационных символов, а также обеспечивается согласование по скорости передачи символов всех  $n_0 = n_0 - 1$  потоков. Значимые информационные символы, требующие высокой достоверности передачи, поступают одновременно на первый вход мультиплексора (7) и на вход формирователя (3) проверочных символов кодера РСК, который формирует  $n_0 = (n_0 \geq 2)$  потоков проверочных символов РСК ( $P_1(x) \div P_{n_0}(x)$ ); на фиг. 2 приведена

функциональна схема ФПСк РСК с параметрами:  $R = k_0/n_0$  - скорость передачи кода,  $q_1(x) = 1 + X^3 + X^{15} + X^{19}$ ,  $q_2(x) = 1 + X^8 + X^{17} + X^{18}$ ,  $q_3(x) = 1 + X^6 + X^{11} + X^{13}$  - порождающие полиномы РСК,  $J = 2$  число проверочных уравнений кода,  $t_{исп.} \leq J/2 = 12/2 = 6$  количество исправляемых (корректируемых) ошибочных информационных символов  $n_A = (m+1) \cdot n_0 = (19+1)4 = 80$  двоичных символов - длина кодового ограничения. ФПСк выполняется в виде последовательного регистра сдвига, содержащего  $m = 19$  ячеек памяти  $(20 \div 38)$  и  $(J-1)(n_0-1) = (4-1)(4-1) = 9$  вынесенных из регистра сдвига сумматоров по модулю два. Сформированные проверочные символы  $n'_0 = n_0 - 1$  потоков поступают на первые входы  $n'_0 = n_0 - 1$  выходных сумматоров (6) по модулю 2.

Менее значимые информационные символы  $n'_0 = n_0 - 1$  потоков (для рассматриваемого РСК количество параллельных потоков менее значимых информационных символов равно  $n'_0 = n_0 - 1 = 4 - 1 = 3$ ) поступают на первые входы соответствующих коммутаторов (5) и входы кодеров (4) ССК. Данные ССК могут быть выбраны для коррекции как группирующихся, так и случайных (независимых) ошибок; в предлагаемом устройстве кодирования менее значимых информационных символов рассматриваются коды, корректирующие случайные ошибки кратностью  $t_{кorr.сл.} \leq J/2 = 4/2 = 2$  - двоичных символа. На фиг. 3 приведена функциональна схема одного кодера (4) ССК с параметрами:  $R_1 = k_0/n_0 = 1/2$  и  $q(x) = 1 + X^2 + X^5 + X^6$  и  $n_A = (m+1) n_0 = (6+1)2 = 14$  двоичных символов - длина кодового ограничения; регистр сдвига кодера ССК содержит шесть ( $m = 6$ ) ячеек памяти  $(39 \div 44)$  и  $(J-1) = (4-1) = 3$  вынесенных из регистра сдвига сумматоров по модулю два. Сформированные проверочные символы кодеров (4) ССК поступают на вторые входы соответствующих  $n'_0 = n_0 - 1$  коммутаторов (5), которые формируют кодовые последовательности  $T_1(x) \div T_{n'_0}(x)$  ССК; на фиг. 4 приведена функциональная схема одного коммутаторов (5). Кодовые символы данных последовательностей поступают на вторые входы соответствующих  $n'_0 = n_0 - 1$  выходных сумматоров (6) по модулю два; формируются символы  $n'_0 = n_0 - 1$  псевдослучайных последовательностей (ПСП) по правилу:  $\Pi_1(x) = P_1(x) \oplus T_1(x)$ , ...,  $\Pi_{n'_0}(x) = P_{n'_0}(x) \oplus T_1(x)$ . Символы сформированных ПСП поступают на соответствующие  $n'_0 = n_0 - 1$  входов мультиплексора (7), который формирует последовательный поток кодовых символов, поступающие далее на вход дискретного канала связи (ДКС).

В приемнике принятые кодовые символы поступают на вход демультиплексора (8), где распределяются на поток значимых информационных символов  $n'_0 = n_0 - 1$  потоков символов ПСП. Значимые информационные символы поступают одновременно на вход первого буферного устройства (14) и на вход формирователя (9) проверочных символов декодера РСК, формирующий  $n'_0 = n_0 - 1$  потоков проверочных символов РСК:  $P'_1(x) \div P'_{n'_0}(x)$ ; знак прим. означает, что проверочные символы данных потоков сформированы из информационных с учетом их прохождения через ДСК.

Проверочные символы потоков  $P'_1(x) \div P'_{n'_0}(x)$  поступают одновременно через второе буферное устройство (15) на соответствующие  $n'_0 = n_0 - 1$  входов первой группы формирователя (17) синдромных символов РСК и на  $n'_0 = n_0 - 1$  входов первой группы формирователя (10) кодовых последовательностей ССК, а на  $n'_0 = n_0 - 1$  входов второй группы формирователя (10) кодовых последовательностей ССК поступают принятые символы ПСП. Формирование символов кодовых последовательностей ССК осуществляется по правилу:  $\Pi_1(x) \oplus P'_1(x)$ , ...,  $\Pi_{n'_0}(x) \oplus P'_{n'_0}(x)$  или  $T_1(x) \oplus P_1(x) \oplus P'_1(x)$ , ...,  $T_{n'_0}(x) \oplus P_{n'_0}(x) \oplus P'_{n'_0}(x)$  или  $T_1(x)$ , ...,  $T_{n'_0}$ .

Сформированные символы кодовых последовательностей  $T_1(x) \div T_{n_0}(x)$  поступают на входы соответствующих  $n'_0 = n_0 - 1$  декодеров (11) ССК, в которых осуществляется обнаружение и коррекции ошибок менее значимых информационных символов. Для ССК, выбранных в качестве примера, каждый декодер (11) обнаруживает и корректирует два ошибочных информационных символов на длине кодового ограничения  $n_{\text{ССК}} = (m+1)(6+1) \cdot 2 = 14$  двоичных символов. Вероятность ошибочного приема менее значимых информационных символов определяется как вероятность ошибочного декодирования порогового декодера ССК, рассчитываемая по формуле  $P_{\text{ош.дек}} = \sum_{i=j/2+1}^{do=j+1} C_{do}^i P_k^i (1-P_k)^{do-i}$ , где

$P_k$  - вероятность ошибочного приема двоичных символов на выходе ДСК, которая практически определяет помехоустойчивость передачи менее значимых информационных символов известного устройства неравной защиты информационных символов.

Скорректированные менее значимые информационные символы  $n'_0 = n_0 - 1$  потоками поступают одновременно на выход устройства, реализующего неравную защиту информационных символов, на первые входы  $n'_0 = n_0 - 1$  коммутаторов (13) и на входы  $n'_0 = n_0 - 1$  кодеров (13). Сформированные коммутатором (13) символы  $n'_0 = n_0 - 1$  кодовых последовательностей  $T_1(x) \div T_{n_0}(x)$  ССК поступают на соответствующие входы формирователя (19) принятых проверочных символов РСК, на  $n'_0 = n_0 - 1$  входов первой группы которого поступают символы ПСП с  $n'_0 = n_0 - 1$  выходов демодулятора (8); реализуется процедура:  $\Pi_1(x) = P_1(x) \oplus T_1(x), \dots, \Pi_{n_0}(x) = P_{n_0}(x) \oplus T_{n_0}(x)$ . В результате суммирования по модулю два символов указанных последовательностей формируются принятые проверочные символы РСК, которые  $n'_0 = n_0 - 1$  потоками поступают на соответствующие входы формирователя (17) синдромных символов РСК. Синдромные символы РСК формируются по правилу:  $S_1(x) = P_1(x) \oplus P'_1(x), \dots, S_{n_0}(x) = P_{n_0}(x) \oplus P'_{n_0}(x)$ , где  $P_i(x)$  и  $P'_i(x)$  - соответственно принятые и вновь сформированные проверочные символы РСК.

Сформированные синдромные символы поступают на соответствующие  $n'_0 = n_0 - 1$  входов анализатора (18) синдромной последовательности, который принимает решение о достоверности принятых значимых информационных символов; ошибочные символы корректируются сигналом, поступающим на второй вход корректора (16) ошибок. С выхода корректора (16) ошибок значимые информационные символы поступают на выход устройства неравной защиты информационных символов.

Вероятность ошибочного приема значимых информационных символов определяется вероятностью ошибочного декодирования кодовых символов РСК, которая рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{ош.дек.зн.симв}} \approx \frac{1}{2^m} \sum_{i=j/2+1}^{n_A} C_{n_A}^i P_k^i (1-P_k)^{n_A-i}, \text{ где } m - \text{максимальная степень порождающих полиномов РСК.}$$

На фиг. 5 приведены кривые вероятностей ошибочного приема (декодирования) значимых и менее значимых информационных символов как при использовании, так и без использования помехоустойчивого кодирования менее значимых информационных символов при передаче информации по ДСК с двукратной фазовой модуляцией и когерентным способом обработки сигналов. Из кривых вероятностей ошибочного приема менее значимых информационных символов следует, что применение помехоустойчивого кодирования существенно повышает помехоустойчивость (достоверность) передачи данных информационных символов. Так, например, при  $P_k = 10^{-3}$ , вероятность ошибочного приема менее значимых информационных символов без применения помехоустойчивого кодирования и при использовании РСК с  $R = 1/4$  будет равна  $P_{\text{ош.пр.БК}} \approx \frac{P_k}{n_0} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ . При

# ВУ 18023 С1 2014.02.28

использовании помехоустойчивого кодирования менее значимых информационных символов ССК с  $R = 1/2$ ,  $q(x) = 1 + X^2 + X^5 + X^6$  и  $J = 4$  вероятность ошибочного приема (декодирования) данных информационных символов равно  $P_{\text{ош.пр.}(дек)} = \sum_{i=i/2+1}^{do=i+1} C_{do}^i P_k^i (1 - P_k)^{do-i} =$

$$= \sum_{i=3}^5 C_5^3 (10^{-3})^3 (1 - 10^{-3}) \approx 1,6 \cdot 10^{-8}.$$

Следовательно, помехоустойчивость (достоверность) передачи менее значимых информационных символов при использовании помехоустойчивого кодирования данных символов ССК повысилась в  $K = \frac{P_{\text{ош.пр.БК}}}{P_{\text{ош.пр.}(дек)}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-8}} = 1,6 \cdot 10^5$  раз.

Вероятность ошибочного приема значимых информационных символов для  $P_k = 10^{-3}$  составляет  $P_{\text{ош.пр.зн.симв.}} = 2,8 \cdot 10^{-10}$ .

На фиг. 5:

1 - Вероятность ошибочного приема двоичных символов на выходе ДСК с двукратной фазовой модуляцией с когерентным способом обработки сигналов

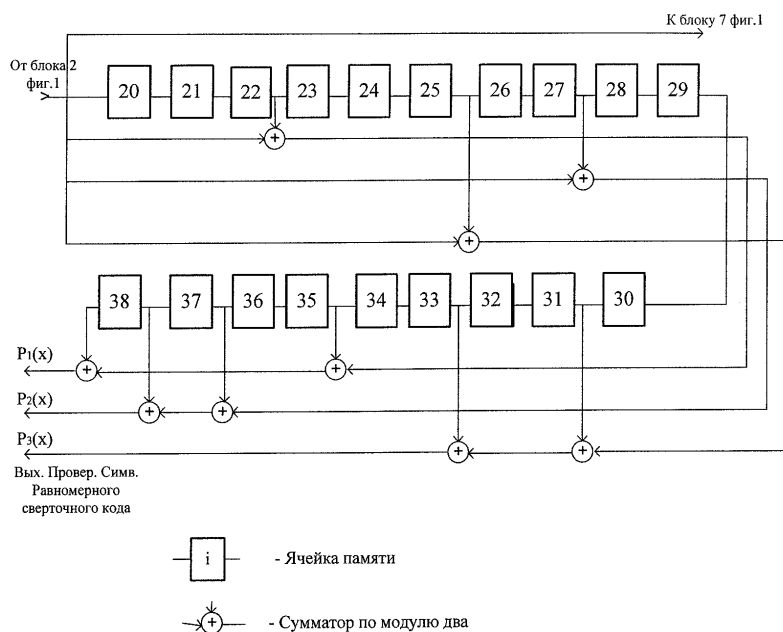
2 - Область ошибочного приема менее значимых информационных символов без применения помехоустойчивого кодирования

3 - Вероятность ошибочного приема менее значимых информационных символов при использовании помехоустойчивого кодирования на основе самоортогональных сверточных кодов

4 - Вероятность ошибочного приема значимых информационных символов при использовании помехоустойчивого кодирования на основе равномерного сверточного кода. Кроме того, обеспечивается дополнительно возможность организации неравной защиты менее значимых информационных символов по каждому из  $n'_0 = n_0 - 1$  потоков; это обеспечивается выбором ССК требуемой, или соответствующей корректирующей способности.

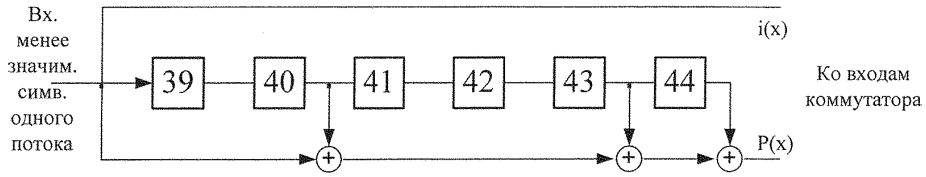
Источники информации:

1. А. с. СССР 508949, МПК Н 04L 1/10, Н 04L 1/18, 1974.
2. А. с. СССР 1035819, МПК Н 04L 1/10, 1983.
3. Доклады БГУИР. - 2008. - № 8(38). - С. 12-18.

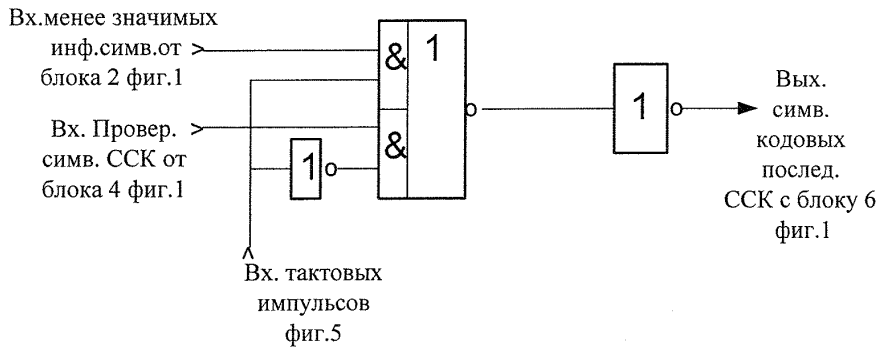


Фиг. 2

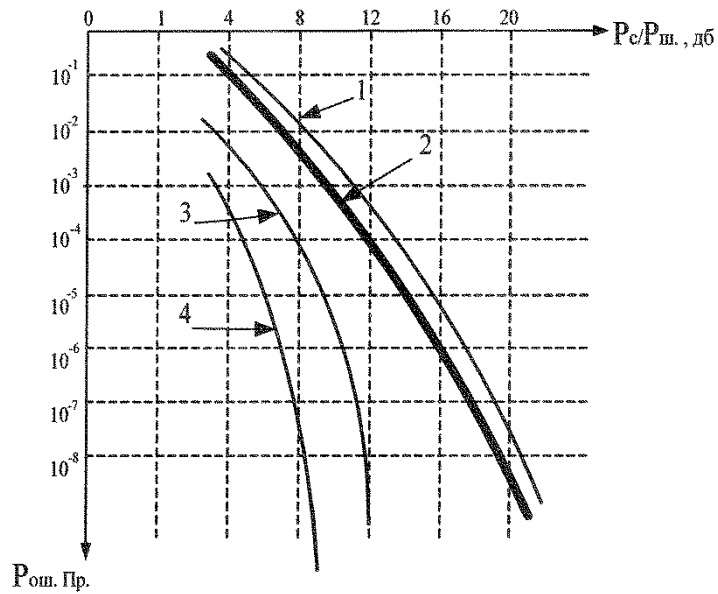
# ВУ 18023 С1 2014.02.28



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5