



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013150766/08, 14.11.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
14.11.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.11.2013

(45) Опубликовано: 20.02.2015 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2048701 C1, 20.11.1995. RU 2163054  
C2, 10.02.2001. RU 2267230 C1, 27.12.2005. RU  
2354048 C1, 27.04.2009. US 6130923 A,  
10.10.2000. US 2010205510 A1, 12.08.2010

Адрес для переписки:

194156, Санкт-Петербург, пр. Энгельса, 21, кв.  
113, Голубеву А.Г.

(72) Автор(ы):

Голубев Анатолий Геннадьевич (RU),  
Молчанов Павел Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество  
"Камчатский гидрофизический институт"  
(ОАО "КГФИ") (RU)(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕКОДИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ, ПРОШЕДШИХ МНОГОЛУЧЕВОЙ  
КАНАЛ СВЯЗИ

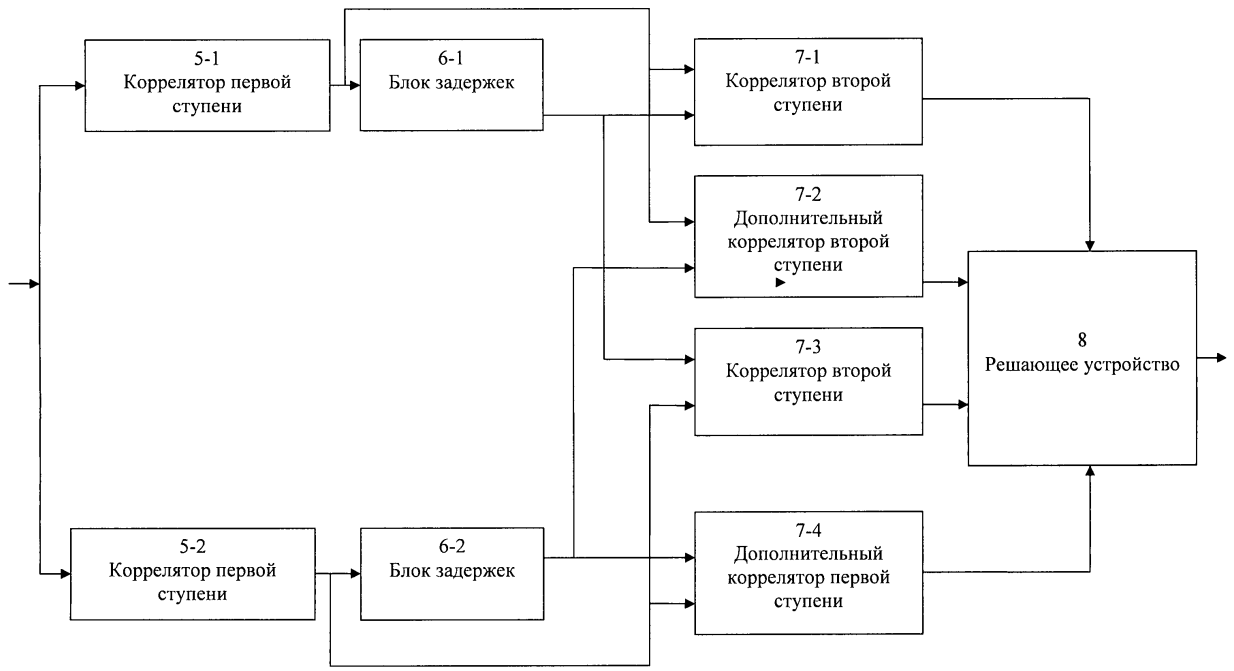
(57) Реферат:

Изобретение относится к области передачи дискретной информации и предназначено для применения в декодерах сигналов связи, передаваемых в каналах с многолучевым распространением. Техническим результатом является обеспечение высокого качества декодирования вне зависимости от количества

символов в передаваемом сообщении. Устройство содержит два коррелятора первой ступени, два блока задержки, два коррелятора второй ступени, два дополнительных коррелятора второй ступени, решающее устройство. 2 ил.

RU 2 541 908 C1

RU 2 541 908 C1



Блок - схема заявляемого устройства.

Фиг.2

RU 2541908 C1

RU 2541908 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H03M 13/37* (2006.01)  
*H04B 7/08* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013150766/08, 14.11.2013  
(24) Effective date for property rights:  
14.11.2013  
Priority:  
(22) Date of filing: 14.11.2013  
(45) Date of publication: 20.02.2015 Bull. № 5  
Mail address:  
194156, Sankt-Peterburg, pr. Ehngel'sa, 21, kv. 113,  
Golubevu A.G.

(72) Inventor(s):  
**Golubev Anatolij Gennad'evich (RU),  
Molchanov Pavel Aleksandrovich (RU)**  
(73) Proprietor(s):  
**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo  
"Kamchatskij gidrofizicheskij institut" (OAO  
"KGFI") (RU)**

(54) **DEVICE FOR DECODING SIGNALS PASSING THROUGH MULTIBEAM COMMUNICATION CHANNEL**

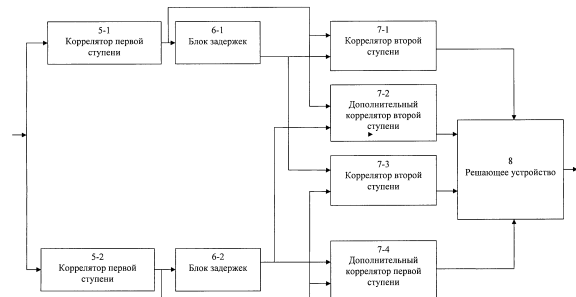
(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: device includes two first step correlators, two delay units, two second step correlators, two additional second step correlators and a decision device.

EFFECT: providing high quality of decoding regardless of the number of symbols in the transmitted message.

2 dwg



Блок - схема заявляемого устройства.  
Фиг.2

RU  
2 541 908  
C1

C1  
2 541 908  
RU

Изобретение относится к области передачи дискретной информации и предназначено для применения в декодерах сигналов связи, передаваемых в каналах с многолучевым распространением.

При передаче сигналов связи через многолучевой канал имеют место искажения их формы, при этом для когерентной обработки и декодирования принимаемых сигналов необходим контроль (оценивание) импульсной характеристики канала (ИХК). В связи с этим большинство известных решений указанных проблем основаны на излучении наряду с информационными (т.е. неизвестными на приемном конце системы связи) импульсами также испытательных импульсов, по которым осуществляется оценивание ИХК. Такой принцип передачи именуется как «система с испытательным импульсом и предсказанием» (СИИП) (см., например, [1], раздел 3.1). Этот принцип лежит и в основе, в частности, объектов [2]-[4].

Недостатком принципа построения системы связи, реализуемого в известных аналогах, является сравнительно низкое качество приема (декодирования) сообщений, обусловленное либо потерей времени при раздельной во времени передаче испытательных и информационных импульсов (как это имеет место в [1]), либо необходимостью расходования части (как правило, половины) энергии передающей аппаратуры на испытательный импульс при одновременной передаче испытательных и информационных импульсов. В конечном итоге обе эти ситуации приводят к потере части энергии излучения в связи с необходимостью контроля текущей формы ИХК.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому объекту является устройство, описанное в [5]. Оно рассматривается в качестве прототипа. Прототип решает следующую задачу. Передан один из двух возможных сигналов (или символов) -  $S_0(t)$  или  $S_1(t)$  (применительно к цифровому варианту реализации устройства декодирования далее рассматриваем все сигналы как функции дискретного времени, т.е. рассматриваем сигналы  $S_0(n)$  и  $S_1(n)$ , где  $n$  - индекс аргумента дискретного времени). Как отмечено выше, форма переданного символа при распространении в многолучевом канале подверглась искажениям, описываемым как свертка этого символа с ИРК, форма которой априорно неизвестна. В точке приема требуется принять решение о том, какой из двух символов был передан (т.е. декодировать переданное сообщение).

Блок-схема прототипа приведена на фиг.1; пояснения по ней приведены ниже при описании принципа действия прототипа.

Принцип действия прототипа состоит в следующем. Для каждого возможного момента прихода связного сигнала вычисляется взаимная корреляция между принятым сигналом и каждым из двух возможных символов  $S_0(n)$  или  $S_1(n)$ . Это действие выполняется корреляторами первой ступени (соответственно позиции 1-1 и 1-2 на фиг.1). В данном случае корреляторы первой ступени по существу являются согласованными фильтрами, т.е. каждый коррелятор первой ступени играет роль согласованного с соответствующим символом фильтра. В результате выполнения этой функции на выходах корреляторов первой ступени 1-1 и 1-2 формируются временные реализации, причем на выходе того коррелятора, опорное колебание которого совпадает с фактически переданным символом, эта временная реализация есть оценка ИХК в рабочей полосе частот (с шумом), а на выходе другого коррелятора - только шум. В связи с тем что прототипу информация о том, какой именно из двух возможных символов был передан, неизвестна, в нем осуществляется суммирование (одноименных временных отсчетов) временных реализаций, сформированных на выходах обоих корреляторов первой ступени (сумматор 2 на фиг.1). Этот результат суммирования оценку ИХК заведомо содержит. Сумматор 2 является также накапливающим на скользящем

интервале времени, т.е. в нем накапливаются массивы оценок ИХК (в смеси с шумами), формируемые последовательно во времени по мере прихода серии связанных символов. Подобное накопление необходимо в, частности, в обеспечении снижения корреляции шумов на входах каждого из корреляторов второй ступени. Количество указанных  
5 накапливаемых реализаций ограничено как количеством содержащихся в передаваемом сообщении символов, так и (это более жесткое условие) интервалом стабильности ИХК.

Далее реализуется вычисление корреляции между оценкой ИРК (она формируется на выходе сумматора 2 и подается на опорные входы корреляторов второй ступени) и каждой из временных реализаций, сформированных на выходах корреляторов первой  
10 ступени 1-1 и 1-2. Эта функция выполняется в корреляторах второй ступени (позиции 3-1 и 3-2 на фиг.1).

Далее для конкретности, положим, что передан символ  $S_0(n)$ . При этом в корреляторе второй ступени 3-1 фактически формируется отклик, пропорциональный энергии переданного многолучевого сигнала (т.е. искаженного по форме символа  $S_0(n)$ ), что  
15 соответствует эффекту когерентного сложения лучей. Этот отклик характеризуется высоким уровнем. На выходе же коррелятора второй ступени 3-2 в данной ситуации формируется лишь реализация шума. У нее низкий уровень главным образом потому, что поступающие на входы коррелятора второй ступени 3-2 шумы при большом количестве накапливаемых в сумматоре 2 реализаций оценки ИХК практически не  
20 коррелированы. Далее при сравнении (в решающем устройстве 4) между собой и/или с порогом уровней откликов, сформированных на выходах корреляторов второй ступени 3-1 и 3-2, принимается решение о фактически переданном символе. Так, в рассматриваемом случае большим и/или превышающим порог будет, как правило, уровень на выходе коррелятора второй ступени 2-1, что приведет (так же, как правило,  
25 т.е. как тенденция) к принятию решения о том, что передан символ  $S_0(n)$ , что в рассматриваемой ситуации и является правильным решением.

Таким образом, в прототипе проблема временного рассеяния энергии сигнала связи решена, поскольку, как отмечено выше, достигнут эффект, эквивалентный когерентному сложению всех лучей (точнее, сигналов, пришедших по всем лучам).

Недостатком прототипа является низкое качество декодирования, имеющее место при приеме сообщения, состоящего из малого количества символов, или при  
30 сравнительно малом интервале стабильности ИХК. Так, при приеме сообщения, состоящего из одиночного символа, в сумматоре 2 прототипа формируется результат суммирования откликов корреляторов первой ступени 1-1 и 1-2 на принимаемую  
35 аддитивную смесь информационного импульса и шума. В этом случае на обоих входах каждого из корреляторов второй ступени шумы в значительной степени коррелированы. Эта коррелированность шумов существенно нивелирует различия в откликах корреляторов второй ступени 2-1 и 2-2 на принимаемый сигнал и тем самым снижает тенденцию к принятию правильного решения. По мере увеличения количества  
40 символов в сообщении действие указанного выше фактора, снижающего качество декодирования, хоть и уменьшается, но весьма плавно. Малый интервал стабильности ИХК в свете приведенного пояснения причины низкого качества декодирования в прототипе приводит к тем же последствиям, что и малое количество символов в сообщении.

Целью заявляемого устройства является устранение указанного недостатка прототипа, т.е. обеспечение возможности приема (декодирования) сообщения вне зависимости от указанных факторов. Цель достигается тем, что в устройство для декодирования сигналов, содержащее два коррелятора первой ступени и два коррелятора

второй ступени, а также решающее устройство, причем общий вход корреляторов первой ступени является входом устройства декодирования, выходы первого и второго корреляторов первой ступени подключены к первым входам соответственно первого и второго корреляторов второй ступени, выходы корреляторов второй ступени  
 5 подключены к входам решающего устройства, а выход решающего устройства является выходом устройства декодирования, введены два дополнительных коррелятора второй ступени, а также два блока задержки, причем выход первого коррелятора первой ступени дополнительно подключен к первому входу первого дополнительного коррелятора второй ступени и к входу первого блока задержки, выход которого  
 10 подключен ко вторым входам первого и второго корреляторов второй ступени, выход второго коррелятора первой ступени дополнительно подключен к первому входу второго дополнительного коррелятора второй ступени и к входу второго блока задержки, выход которого подключен ко вторым входам первого и второго дополнительных корреляторов второй ступени, а выходы дополнительных корреляторов  
 15 второй ступени подключены к входам решающего устройства.

Перечисленная совокупность признаков заявляемого устройства декодирования (являющаяся минимально необходимой) соответствует его варианту, рассчитанному на прием двухпозиционного кода (т.е. кода, принимающего одно из двух значений, например «0» или «1»). В общем случае при приеме N-позиционного кода декодер  
 20 содержит по N корреляторов первой ступени и блоков задержки, а также  $N^2$  корреляторов второй ступени.

Блок-схема заявляемого объекта приведена на фиг.2, где обозначены:

- 5-1 и 5-2 - корреляторы первой ступени;
- 6-1 и 6-2 - блоки задержки;
- 25 - 7-1 и 7-3 - корреляторы второй ступени;
- 7-2 и 7-4 - дополнительные корреляторы второй ступени;
- 8 - решающее устройство.

Каждый коррелятор первой ступени (5-1, 5-2) реализуется, например, в соответствии с блок-схемой на рис.5.14, с.295 книги [6]. При этом сигнальным входом коррелятора является нижний на указанном рис.5.14 вход, на который подается принимаемый сигнал  $x(n)$ . Опорная же функция коррелятора первой ступени (на указанном рис.5.14 она обозначена как  $h(n)$ ) хранится в его долговременной памяти, на рис.5.14 для простоты не показанной. В заявляемом устройстве опорные функции корреляторов первой ступени  $h(n)$  имеют вид:

- 35 - коррелятор 5-1 -  $h_1(n)=S_0(n)$ ;
- коррелятор 5-2 -  $h_2(n)=S_1(n)$ .

При реализации коррелятора первой ступени в спектральной области (т.е. на базе процедуры быстрой свертки) над опорной функцией каждого из этих корреляторов заранее выполняется операция дискретного преобразования Фурье (ДПФ), и массив  
 40 результата ДПФ (результат его комплексного сопряжения) запоминается в долговременной памяти соответствующего коррелятора первой ступени. Над массивами отсчетов входного сигнала  $x(n)$  также выполняется ДПФ, далее выполняется поэлементное перемножение (т.е. перемножение одноименных отсчетов) массивов результатов ДПФ над опорной функцией и входным сигналом и обратное ДПФ (ОДПФ)  
 45 от массива результатов указанного перемножения. Период обновления массива отсчетов входного сигнала при смежных по времени циклах вычисления корреляции в каждом из корреляторов первой ступени обычно выбирается равным длительности каждого из импульсов (сигналов)  $S_0(n)$ ,  $S_1(n)$  (длительности всех этих импульсов в простейшем

случае совпадают), при этом длина окна ДПФ равна двойной длительности каждого из этих сигналов. Два независимо работающих коррелятора первой ступени показаны на фиг.2 условно. При их реализации в спектральной области водящая в состав этих корреляторов процедура ДПФ от входного сигнала может быть для всех них общей.

5 Возможен также эквивалентный рассмотренному вариант блок-схемы коррелятора первой ступени во временной области; описание этого варианта коррелятора приведено в [6], рис.6.186, с.418, где (в соответствии с сегодняшними возможностями техники) вместо рециркулирующей линии задержки, хранящей массив временных отсчетов опорного сигнала при его жестком ограничении, реализуется многоразрядный регистр  
10 сдвига, хранящий те же отсчеты, представленные многоразрядными кодовыми словами.

Динамика обновления входных и выходных данных рассматриваемого коррелятора иллюстрируется, например, в [7, с.76-78].

Каждый из блоков 6-1 и 6-2 осуществляет задержку поступающего на его вход сигнала на время, равное периоду следования сигналов в передаваемой последовательности T  
15 (этот период, как правило, равен длительности каждого из этих сигналов), и реализуется, например, как многоразрядный регистр сдвига.

Каждый (в том числе и дополнительный) коррелятор второй ступени 7-1...7-4 реализуется аналогично коррелятору первой ступени (предпочтительно в варианте во временной области), с той лишь разницей, что нем отсутствует долговременная память,  
20 хранящая опорное колебание. Длительность цикла обновления сигнала на выходе каждого коррелятора второй ступени может составлять, например, один период дискретизации входных сигналов.

Решающее устройство 8 представляет собой схему сравнения текущих уровней сигналов на его входах между собой и/или с заданным порогом, хранящимся в его  
25 долговременной памяти: В случае превышения максимального из уровней четырех входных (для устройства 8) сигналов порога на выходе решающего устройства 8 формируется код комбинации их двух принятых и декодированных сигналов. Так, например, при передаче позиций кода «0» и «1» соответственно сигналами  $S_0(n)$  и  $S_1(n)$  в том случае, если максимальным и превысившим порог будет сигнал на выходе  
30 коррелятора второй ступени 7-1, 7-2, 7-3 или 7-4 (в заявляемом устройстве все эти корреляторы по выполняемой функции и их реализации совпадают), решающее устройство 8 в качестве решения формирует кодовую последовательность соответственно «0-0» (т.е. первый из принятых сигналов декодирован как «0» и второй - тоже как «0»), «0-1», «1-0» или «1-1».

35 Принцип действия заявляемого устройства состоит в следующем. При передаче последовательности импульсов, например,  $S_1(n)$ - $S_0(n)$  (т.е. кодовой комбинации «1-0») в момент прихода первого сигнала этой последовательности (точнее, в момент прихода его заднего фронта) на выходе коррелятора первой ступени 5-2 (опорное колебание которого совпадает с информационным импульсом  $S_1(n)$ ) формируется отклик, равный  
40 свертке ИХК с автокорреляционной функцией (АКФ) импульса  $S_1(n)$  в смеси с шумом. Считаем далее этот момент условно нулевым. В этот же момент на выходе коррелятора первой ступени 5-1 (опорное колебание которого совпадает с информационным импульсом  $S_0(n)$ ) формируется отклик, содержащий только шум. Далее в момент T прихода второго сигнала этой последовательности на выходе коррелятора первой  
45 ступени 5-1 (опорное колебание которого совпадает с информационным импульсом  $S_0(n)$ ) формируется отклик, равный свертке ИХК с АКФ импульса  $S_0(n)$  в смеси с шумом. (Считаем, что АКФ обоих сигналов совпадают.) В этот же момент на выходе коррелятора первой ступени 5-2 (опорное колебание которого совпадает с

информационным импульсом  $S1(n)$ ), формируется отклик, содержащий только реализацию шума. Тогда в момент  $T$  на входах (дополнительного) коррелятора второй ступени 7-3 формируются две совпадающие по форме свертки ИХК с АКФ передаваемых импульсов (сигналов)  $S0(n)$  и  $S1(n)$ , каждая в смеси с шумами; в итоге сигнал на выходе этого коррелятора второй ступени 7-3 имеет сравнительно высокий уровень. В этот же момент времени на одном из входов коррелятора второй ступени 7-4 формируется свертка ИХК с АКФ импульса  $S0(n)$  в смеси с шумом, а на втором его входе - только реализация шума; одновременно с этим на всех входах корреляторов второй ступени 7-1 и 7-2 формируются только реализации шума. Реализации шума на всех входах всех корреляторов второй ступени некоррелированы. Таким образом, имеется статистическая тенденция к тому, что при приеме переданной комбинации сигналов  $S1(n)$ - $S0(n)$  (т.е. кодовой последовательности «1-0») уровень сигнала на выходе коррелятора второй ступени 7-3 будет существенно превышать таковой на выходе коррелятора второй ступени 7-4 и в еще большей степени - на выходах корреляторов второй ступени 7-1 и 7-2. При этом решающее устройство 8 формирует решение, соответствующее переданной кодовой комбинации.

При передаче кодовой комбинации, например, «0-0» совпадающие по форме свертки ИХК с АКФ передаваемых импульсов (сигналов)  $S0(n)$  и опять же  $S0(n)$  будут одновременно (с учетом задержки, вводимой в данной ситуации блоком задержки 6-1) формироваться только на входах коррелятора второй ступени 7-1, и при этом решающее устройство 8 выработает решение в пользу кодовой комбинации «0-0».

Заявляемое устройство обеспечивает высокое качество декодирования даже при малом (но не меньшем двух) количестве передаваемых в сообщении символов и малом интервале стабильности ИХК (достаточно интервала стабильности ИХК, не меньшего двойной длительности символа, т.е.  $2T$ ).

Таким образом, цель изобретения достигается.

Литература

1. Д.Д. Кловский. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. М.: Связь. 1969.
2. Устройство приема дискретных сигналов в многолучевом канале связи. Патент РФ №2048701.
3. Цифровое устройство для демодуляции дискретных сигналов в многолучевом канале связи. Патент РФ №2267230.
4. Устройство для передачи дискретных сигналов в многолучевом канале связи. Патент РФ №959291.
5. Sussman S.M. A matched filter communication system for multipath channels // IEEE Trans. IT - 6. N 3. June 1960.
6. «Применение цифровой обработки сигналов», под ред. Э. Оппенгейма. М.: Мир. 1980.
7. Л. Рабинер, Б. Гоулд. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир. 1978.

#### Формула изобретения

Устройство для декодирования сигналов, прошедших многолучевой канал связи, содержащее два коррелятора первой ступени и два коррелятора второй ступени, а также решающее устройство, причем общий вход корреляторов первой ступени является входом устройства декодирования, выходы первого и второго корреляторов первой ступени подключены к первым входам соответственно первого и второго корреляторов

второй ступени, выходы корреляторов второй ступени подключены ко входам решающего устройства, а выход решающего устройства является выходом устройства декодирования, отличающееся тем, что в него введены два дополнительных коррелятора второй ступени, а также два блока задержки, причем выход первого коррелятора первой ступени дополнительно подключен к первому входу первого дополнительного коррелятора второй ступени и ко входу первого блока задержки, выход которого подключен ко вторым входам первого и второго корреляторов второй ступени, выход второго коррелятора первой ступени дополнительно подключен к первому входу второго дополнительного коррелятора второй ступени и ко входу второго блока задержки, выход которого подключен ко вторым входам первого и второго дополнительных корреляторов второй ступени, а выходы дополнительных корреляторов второй ступени подключены ко входам решающего устройства.

15

20

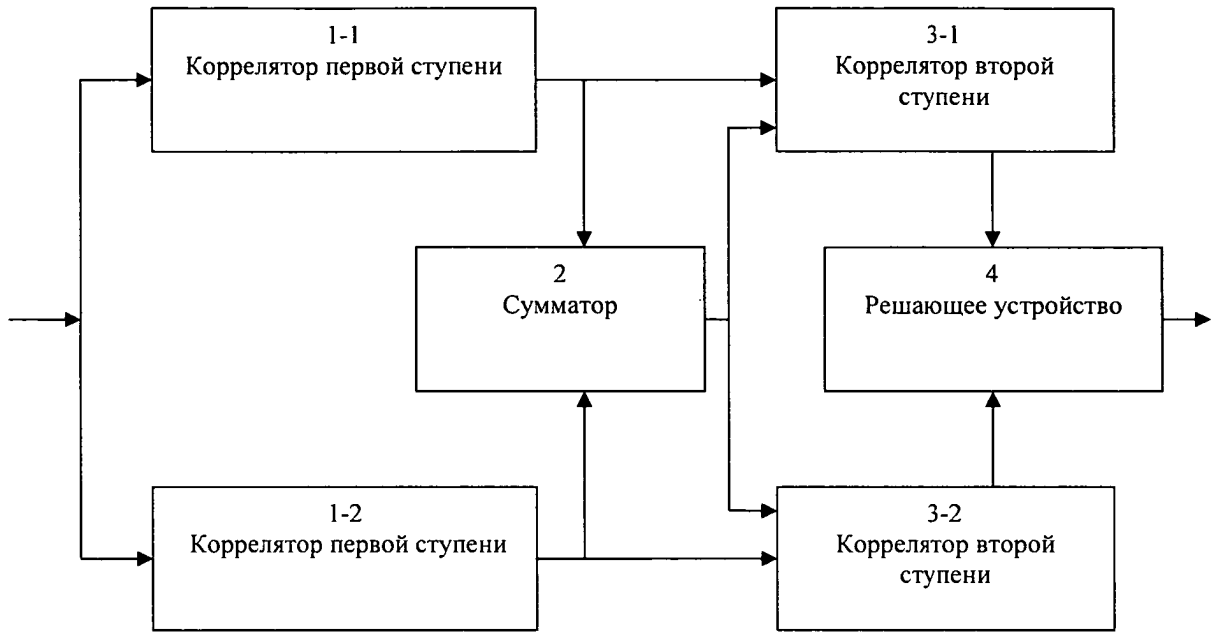
25

30

35

40

45



Блок-схема прототипа.

Фиг. 1