

## РАЗРАБОТКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ПОДВОДНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА ХУРГИНА-ЯКОВЛЕВА

Дмитриев В.Т., д.т.н., доцент, зав. кафедрой РУС РГРТУ, e-mail: vol77@rambler.ru  
Аронов Л.В., к.т.н., доцент кафедры РУС РГРТУ, e-mail: aronov.l.v@rsreu.ru

### DEVELOPMENT OF A NOISE-PROOF UNDERWATER COMMUNICATION SYSTEM BASED ON A MODIFICATION OF THE KHURGIN-YAKOVLEV ALGORITHM

Dmitriev V.T., Aronov L.V.

The article proposes to use a hydroacoustic communication channel to transmit speech signals between underwater manned vehicles, divers and infrastructure. The parameters of the hydroacoustic data transmission channel are calculated, the dependences of the maximum route length on the data transmission rate are obtained. The paper shows that the use of a modification of the Khurgin-Yakovlev algorithm in adaptive noise-resistant underwater communication systems allows to improve the quality of the restored speech at the output of the transmission system under the action of interference in the communication channel. The use of systems based on a modification of the Khurgin-Yakovlev algorithm allows to increase the range of information transmission under the action of interference in the underwater communication channel. Computer modeling showed that the gain in distance when using a modification of this algorithm is from 75 km, with a frequency band from 1 to 6.3 kHz and an acoustic carrier from 3.3 to 21 kHz for given initial data.

**Key words:** hydroacoustic channel, hydroacoustic communication, underwater communication, Khurgin-Yakovlev algorithm.

**Ключевые слова:** гидроакустический канал, гидроакустическая связь, подводная связь, модификация алгоритма Хургина-Яковлева.

#### Введение

Гидроакустические каналы передачи данных используются от традиционных радиоканалов тем, что используют энергию акустических колебаний. В условиях подводной среды, они обладают важным достоинством, по сравнению с радиоканалом и оптическим каналом: малое затухание, дающее возможность установления связи на значительные дистанции. Вследствие этого имеют лучшие энергетические характеристики, компактные излучатели и широкую сферу применения, в том числе с их помощью возможно осуществлять связь, управление и передачу телеметрической информации. Основных недостатков можно отметить два, во-первых, узкая полоса частот, составляющая десятки килогерц, во-вторых, скорость распространения акустического сигнала в воде составляет в среднем 1500 м/с, что является причиной больших задержек в передаче данных.

В процессе освоения Мирового океана всё актуальнее становится проблема организации беспроводной речевой связи между подводными аппаратами, водолазами и объектами инфраструктуры. Речевой сигнал подвергается искажениям и может быть не распознан слушателем на приёмном конце, что может иметь критическое значение для безопасности при проведении подводных работ, поэтому для повышения качества восстановленной речи в канале связи или для повышения дальности передачи при действии шумов в канале связи предложено применение модификации алгоритма Хургина-Яковлева. Данное представление обеспечивает передачу отсчетов сигнала и его производной по ка-

Предложено использовать гидроакустический канал связи для передачи речевых сигналов между подводными обитаемыми аппаратами, водолазами и инфраструктурой. Проведен расчет параметров гидроакустического канала передачи данных, получены зависимости максимальной протяженности трассы от скорости передачи данных. В работе показано, что применение модификации алгоритма Хургина-Яковлева в адаптивных помехоустойчивых подводных системах связи позволяет повысить качество восстановленной речи на выходе системы передачи при действии помех в канале связи. Применение систем на основе модификации алгоритма Хургина-Яковлева позволяет повысить дальность передачи информации при действии помех в канале подводной связи. Компьютерное моделирование показало, что выигрыш по расстоянию при использовании модификации данного алгоритма составляет от 75 км, при полосе частот от 1 до 6,3 кГц и акустической несущей от 3,3 до 21 кГц при заданных исходных данных.

налу связи с последующим восстановлением на приеме. Фазовый сдвиг между отсчетами сигнала и его производных позволяет увеличить помехоустойчивость передаваемого речевого сигнала.

**Целью работы** является исследование гидроакустического канала передачи речевых сигналов на основе модификации алгоритма Хургина-Яковлева в интересах повышения качества восстановленной речи в условиях подводной шумовой обстановки.

#### Расчёт параметров гидроакустического канала передачи данных

В рамках исследования рассматриваются речевые кодеки на основе алгоритма Хургина-Яковлева, скорость передачи данных которыми составляет от 1 до 6,3 кбит/с. Для расчёта параметров гидроакустического канала передачи данных необходимо, на первом этапе, определить полосу частот сигнала и выбрать несущую

частоту. Оценка ширины полосы частот осуществляется для данного вида модуляции, например при кодоимпульсной модуляции скорость передачи данных  $R_0$  и требуемая ширина полосы частот  $\Delta f_A$  связаны формулой:

$$R_0 \leq \Delta f_A / 3.$$

В работах [1-3] показано, что так как преобладающим видом помех, действующих в гидроакустическом канале передачи данных, являются аддитивные помехи, близкие по своим характеристикам к белому гауссовскому шуму, то наибольшую помехоустойчивость в гидроакустических каналах обеспечивают ортогональные и противоположные сигналы, к каковым можно отнести MFSK, QPSK, OFDM, DPSK, QAM и другие. В соответствии с теоремой Шеннона, пропускная способность канала передачи данных, в этом случае равна:

$$C = \Delta f_A \log_2(1 + OSW),$$

где OSW – отношение сигнал-шум.

При использовании DPSK требуемая полоса частот составляет в предельном случае [3]:

$$R_0 \approx \Delta f_A,$$

таким образом оценку полосы пропускания антенн гидроакустического канала  $\Delta f_{AA}$ , можно произвести по формуле [3]:

$$\Delta f_{AA} \geq 1/\tau_s + 2f_d + \Delta f_{A\chi}, \quad (1)$$

где  $\tau_s$  – длительность передачи одного символа, с;  $f_d$  – доплеровское смещение рабочей частоты, достигающее в ГАК 0,001 от величины центральной частоты  $f_A$ , Гц;  $\Delta f_{A\chi}$  – технологический разброс частотных характеристик гидроакустических антенн, который составляет 500-600 Гц [3].

Задав полосу акустического сигнала равной 30 % от центральной частоты  $f_A$ , получим, что при заданных скоростях передачи данных от 1 до 6,3 кбит/с центральная частота будет меняться в интервале  $f_A = 3,3 \dots 21$  кГц. Тогда в соответствии с формулой (1) требуемая полоса гидроакустической антенны  $f_{AA}$  составит от 33 % до 48 % от центральной частоты.

В задаче энергетического расчёта гидроакустического канала передачи данных существует понятие оптимальной частоты  $f_{OPT}$  [кГц], которая определяется по формуле [3]:

$$f_{OPT} \approx 62(L_m)^{2/3}, \quad (2)$$

где  $L_m$  – длина трассы, км.

Учитывая формулу (2) максимальную рекомендуемую протяженность трассы передачи данных, с учетом  $f_A$  [Гц] можно выразить:

$$L_m \approx (f_A / 62000)^{2/3}. \quad (3)$$

Зависимость максимальной протяженности трассы от скорости передачи данных (рис. 1).

Расчёт показывает изменение дальности в 16 раз, при вариации скорости кодека от 1 до 6,3 кбит/с. Таким образом, применение широкополосной гидроакустической антенны в связке с технической возможностью изменения

несущей акустической частоты  $f_A$  позволяет осуществлять адаптивное изменение скорости речевого кодека, в зависимости от расстояния.

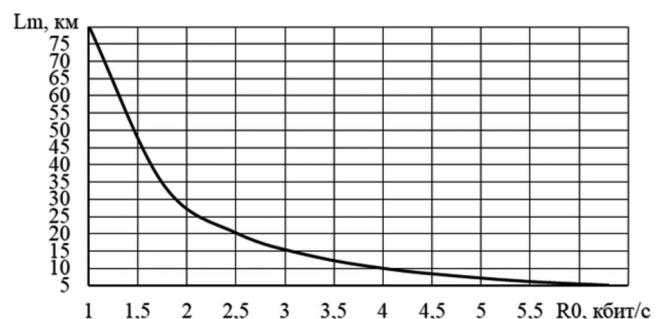


Рис. 1. Зависимость максимальной протяженности трассы от скорости передачи данных

Для оценки коэффициента затухания  $\alpha_{TAK}$  в гидроакустическом канале применяется эмпирическая формула, известная, как формула Торпа [4]:

$$\alpha_{TAK} = \frac{40f_A^2}{(4100 + f_A^2)} + \frac{0,1f_A^2}{(1 + f_A^2)} + \frac{0,03f_A^2}{(36 + f_A^2)}, \quad (4)$$

где  $f_A$  – выражено в кГц.

Данная формула имеет ряд ограничений, она справедлива при температуре морской воды равной 4°C и кислотности pH = 8,0, хотя зависимость коэффициента затухания  $\alpha_{TAK}$  от этих параметров незначительна. Необходимо учитывать, что распространение звука в воде имеет многолучевой характер, а акустические свойства морской воды зависят от ряда факторов, поддающихся прогнозированию, таких как плотность, солёность, температура, глубина и т.д., и не поддающихся прогнозированию газовые пузырьки, планктон, различные подводные течения и т.д.

Усреднённое значение затухания  $\alpha_{TAK}$  акустических колебаний в морской воде аппроксимируется выражением [3]:

$$\alpha_{TAK} = 0,036 f_A^{3/2}. \quad (5)$$

Сравнение результатов расчёта выполненных по формулам (4) и (5) показано на рис. 2.

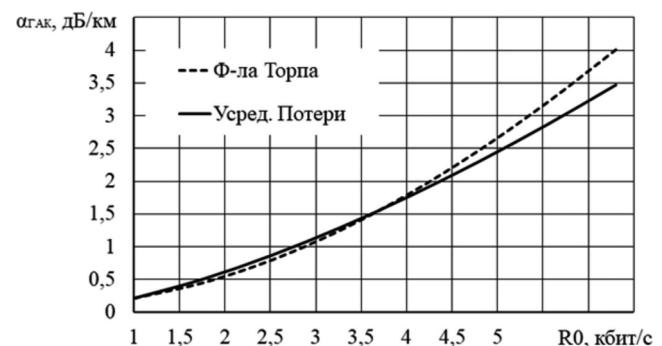


Рис. 2. Зависимости коэффициента пространственного затухания  $\alpha_{TAK}$  от скорости передачи данных с учётом формул (4) и (5)

Результаты расчета показывают, что на малых скоростях, с учётом адаптивного изменения частоты, уровень затухания практически не отличается, однако следует учесть, что использование усредненных потерь на значительных расстояниях предпочтительнее, так как

Таблица 1. Параметры гидроакустического канала передачи данных

$R_0$ , кбит/с	$L_m$ , км	$\alpha_{ГАК}$ , дБ/км	$\beta_{ГАК}$ , 1/км	$f_A$ , кГц	$\Delta f_A$ , кГц	$\Delta f_{AA}$
1	80	0,22	0,05	3,3	1	1,6
1,2	61	0,29	0,06	4	1,2	1,8
2	28,4	0,62	0,14	6,7	2	2,6
2,4	21,6	0,81	0,9	8	2,4	3
4,8	7,6	2,3	0,53	16	4,8	5,4
5,3	6,6	2,7	0,62	17,7	5,3	5,9
6	5,5	3,2	0,74	20	6	6,6
6,3	5,1	3,5	0,8	21	6,3	6,9

Таблица 2. Оценка качества восстановленной речи для различных систем передачи данных при разной вероятности ошибок в канале связи на расстоянии 27 км

$R_0$ , кбит/с	1	1,2	2	2,4	4,8	5,3	6	6,3
BER	0,002	0,004	0,02	0,03	0,093	0,104	0,118	0,124

Таблица 3. Оценка качества восстановленной речи для различных систем передачи данных при разной вероятности ошибок в канале связи на оптимальном расстоянии

$R_0$ , кбит/с	1	1,2	2	2,4	4,8	5,3	6
$L_m$ , км	80	61	28,4	21,6	7,6	6,6	5,5
BER	0,27	0,2	0,03	0,0069	$10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-13}$

эта формула учитывает многолучевой характер распространения акустических волн.

Средняя мощность акустического сигнала, с учётом расходимости волны в пространстве  $P_{c,ex}$  [ $Bm / m^2$ ] равна [3]:

$$\begin{aligned} P_{c,ex} &= P_{ppd} \cdot \frac{G_{ppd} S_{\text{эфф}}}{4 \cdot \pi \cdot Lm^2} \exp(-0,23 \cdot \beta_{ГАК} \cdot L_m) = \\ &= P_{ppd} \cdot \frac{\lambda_A^2 G_{ppd} G_{ppM}}{(4 \cdot \pi \cdot Lm)^2} \exp(-0,23 \cdot \beta_{ГАК} \cdot L_m), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $P_{ppd}$  – мощность акустического передатчика, Вт;  $G_{ppd}$  – коэффициент усиления передающей гидроакустической антенны;  $\beta_{ГАК}$  – коэффициент затухания

$\alpha_{ГАК}$  выраженный в 1/км;  $S_{\text{эфф}} = \frac{\lambda_A^2 G_{ppM}}{4 \cdot \pi}$  – эффективная площадь приёмной антенны,  $m^2$ ;  $G_{ppM}$  – коэффициент усиления приемной гидроакустической антенны;  $\lambda_A$  – длина акустической волны, м.

В результате для гидроакустического канала передачи данных рассчитаны следующие параметры (табл. 1).

Итоговое отношение сигнал-шум определяется по формуле [3]:

$$\begin{aligned} OSIII &= \frac{P_{ppd} \cdot \frac{\lambda_A^2 G_{ppd} G_{ppM}}{(4 \cdot \pi \cdot Lm)^2} \exp(-0,23 \cdot \beta_{ГАК} \cdot L_m)}{N_{\Sigma} \Delta f_A S_{\text{эфф}}} =, \\ &= \frac{P_{ppd} \cdot \frac{\lambda_A^2 G_{ppd} G_{ppM}}{(4 \cdot \pi \cdot Lm)^2} \exp(-0,23 \cdot \beta_{ГАК} \cdot L_m)}{N_{\Sigma} \Delta f_A \frac{\lambda_A^2 G_{ppM}}{4 \cdot \pi}} = \\ &= \frac{P_{ppd} \cdot \frac{G_{ppd}}{4 \cdot \pi \cdot (Lm)^2} \exp(-0,23 \cdot \beta_{ГАК} \cdot L_m)}{N_{\Sigma} \Delta f_A}, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $N_{\Sigma}$  – спектральная интенсивность шума,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{Гц})$ .

Спектральная интенсивность шума зависит от многих факторов, случайных и прогнозируемых, поэтому его численная оценка затруднительна и должна быть привязана к конкретному месту эксплуатации [4, 5], с учётом реальных измерений. Зависимость отношения сигнал-шум от скорости передачи данных в предложенном адаптивном гидроакустическом канале при мощности излучателя равной 1 Вт и частоте несущей 21 кГц в зоне умеренного судоходства (шумовая составляющая рассчитана по методике [5]) показана на рис. 3.

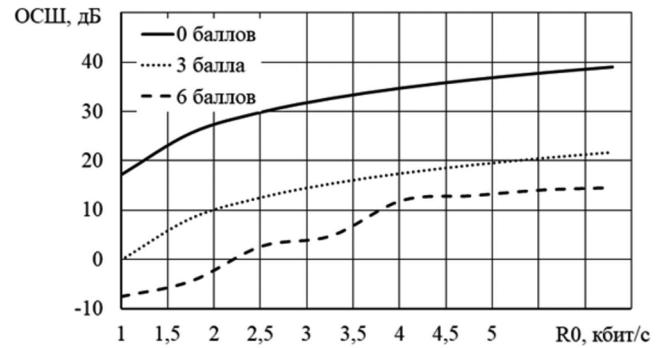


Рис. 3. Зависимости вероятности битовой ошибки от скорости передачи данных при волнении моря 0, 3 и 6 баллов

Из графиков видно, что зависимости имеют сложный характер, увеличение скорости передачи с одной стороны способствует расширению полосы канала, что приводит к уменьшению ОСШ, с другой стороны уменьшается уровень фоновых шумов, что способствует увеличению ОСШ. Из формы кривой видно, что при увеличении волнения моря шумы начинают оказывать существенное влияние на работу гидроакустического канала передачи данных. Рассчитаем вероятность битовой ошибки при ОСШ соответствующем 6 бальному шторму, то есть когда передача данных производится в условиях значительной зашумленности на частоте 21 кГц для модуляции DPSK на усредненном расстоянии из табл. 1 (табл. 2) и на оптимальном расстоянии (табл. 3).

## Повышение качества восстановленной речи в подводном канале связи

Рассмотрим возможности повышения качества восстановленной речи в первичных кодеках при действии помех в канале связи на основе модификации алгоритма Хургина-Яковлева [6, 7]. Предложенная модификация обеспечивает возможность параллельной обработки отсчетов сигнала, за счет разложения его на прореженные отсчеты сигнала и его производных. Кроме того, данное представление обеспечит повышение помехоустойчивости за счет наличия фазового сдвига между отсчетами сигнала и его производных. На основе данного представления целесообразно построение адаптивных кодеков РС, обеспечивающих повышение качества восстановленной речи при действии помех в канале связи. В более ранних работах [8...14] проанализировано построение адаптивных кодеков на основе модификации алгоритма Хургина-Яковлева при двухканальной обработке  $N = 2$ . Показано, что применение данных кодеков обеспечивает выигрыш в качестве восстановленной речи на уровне до 0,2...0,3 баллов согласно ГОСТ Р 50840-95, что зачастую оказывается недостаточно для систем передачи речевой информации.

Рассмотрим воздействие шумов в канале связи на стандартные среднескоростные и низкоскоростные кодеки на основе теоремы В.А. Котельникова. Для построения адаптивных первичных кодеков на основе теоремы В.А. Котельникова необходимо провести исследование воздействия помех в канале связи, обеспечивающих вероятность ошибки  $P_e$  на качество речи на выходе первичных кодеков и осуществить выбор алгоритмов кодирования обеспечивающих наилучшее качество в рамках определенных диапазонов скоростей передачи. Для разработки соответствующих рекомендаций проведены исследования известных кодеков РС при действии помех и искажений в канале. В качестве модели искажений принята известная в литературе модель, когда биты передаваемой информации искажаются с вероятностью  $P_e$  по случайному закону. Для оценки качества речи использовались десять тестовых акустически взвешенных фраз, приведенных в ГОСТ Р 50840-95.

Речевой материал записан десятью дикторами (3 женщины и 7 мужчин). Запись РС осуществлялась в

специальном помещении кабинетного типа (с размерами 5,7\*2,9\*3 м и временем реверберации порядка 350 мс) при наличии естественного фонового шума слабого уровня. Для записи использовался профессиональный диктофон Olimpus LS-10 (Linear PCM recorder), обеспечивающий возможность записи РС в формате WAV со следующими параметрами: частота дискретизации – 44,1 кГц; разрядность квантования – 16 бит; тип кодирования – ИКМ. Диктофон был установлен на расстоянии 0,5 м перед диктором на уровне его лица. Для исследований выбраны наиболее часто используемые в настоящее время кодеки: LBRAMR (1 кбит/с), LBRAMR (1,2 кбит/с), MMBE (1,2 кбит/с), LBRAMR (2 кбит/с), LBRAMR (2,4 кбит/с), MMBE (2,4 кбит/с), ICELP (4,8 кбит/с), G.723.1 (5,3 кбит/с), ICELP (6 кбит/с), G.723.1 (6,3 кбит/с), G 729a (8 кбит/с).

В ходе экспериментальных исследований проведена оценка качества речи на выходе различных групп кодеков: низкоскоростных (1...2,4 кбит/с) и среднескоростных (4,8...8 кбит/с). Графики качества восстановленной речи в зависимости от вероятности ошибки в канале связи  $P_e$  приведены на рис. 4. На рис. 4, а приведены зависимости качества для низкоскоростных кодеков под цифрой 1 – LBRAMR (1 кбит/с), под цифрой 2 – кодек LBRAMR (1,2 кбит/с), под цифрой 3 – кодек MMBE (1,2 кбит/с), под цифрой 4 – бит/с).

На рис. 4, б приведены аналогичные зависимости для среднескоростных кодеков: под цифрой 1 – кодек ICELP (4,8 кбит/с), под цифрой 2 – кодек G.723.1 (5,3 кбит/с), под цифрой 3 – кодек ICELP (6 кбит/с), под цифрой 4 – G.723.1 (6,3 кбит/с), под цифрой 5 – G 729a (8 кбит/с).

Выбраны алгоритмы первичного кодирования, обеспечивающие лучшее качество восстановленной речи на выходе кодека для своей группы. При приблизительно равных оценках качества восстановленной речи (порядка 0,1...0,2 баллов согласно ГОСТ Р 50840-95) предпочтение отдавалось алгоритмам кодирования с наименьшей скоростью передачи. Результаты экспериментальных исследований алгоритмов первичного кодирования для программно-конфигурируемых радиосистем приема, передачи и обработки информации приведены в табл. 4 и 5.

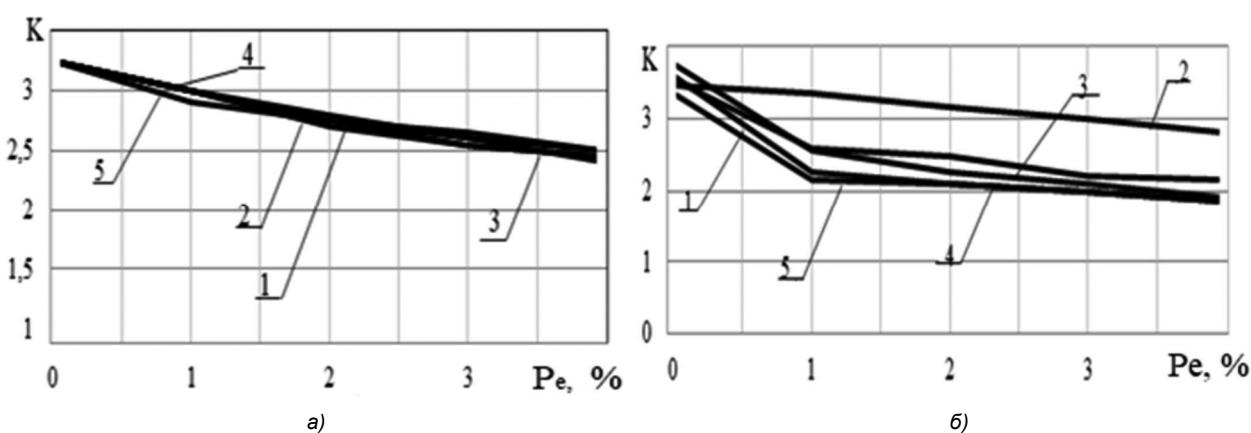


Рис. 4. Зависимости качества восстановленной речи от вероятности ошибки  $P_e$  для низкоскоростных кодеков на основе теоремы В.А. Котельникова

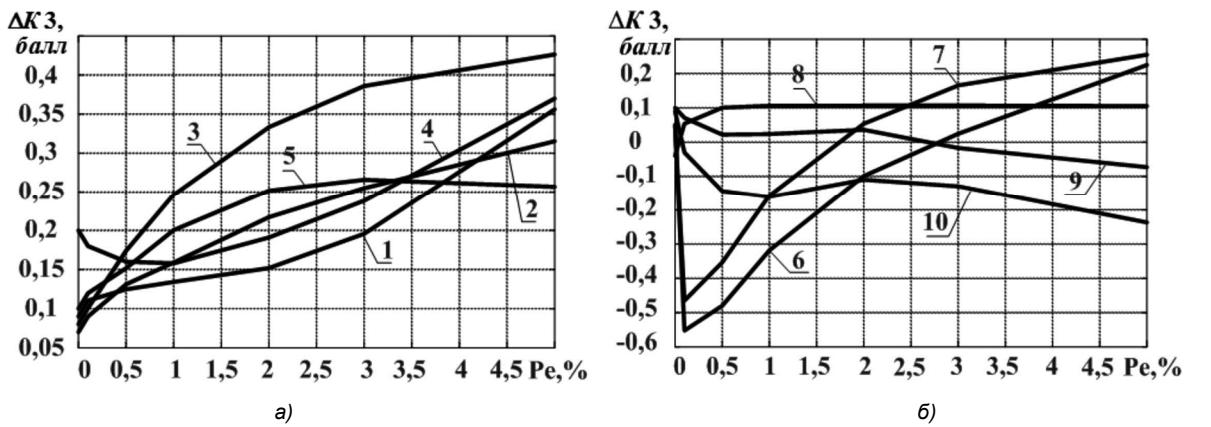


Рис. 5. Выигрыш качества восстановления речевых сигналов в условиях помех в канале связи при использовании низкоскоростных кодеков (а), среднескоростных кодеков (б)

Рассмотрим воздействие шумов в канале связи на качество речи на первичный кодек на основе модификации алгоритма Хургина-Яковлева при трехканальной реализации  $N = 3$ .

Таблица 4. Алгоритмы первичного кодирования РС, обеспечивающие наибольшее качество речи при действии помех в канале связи для низкоскоростных кодеков

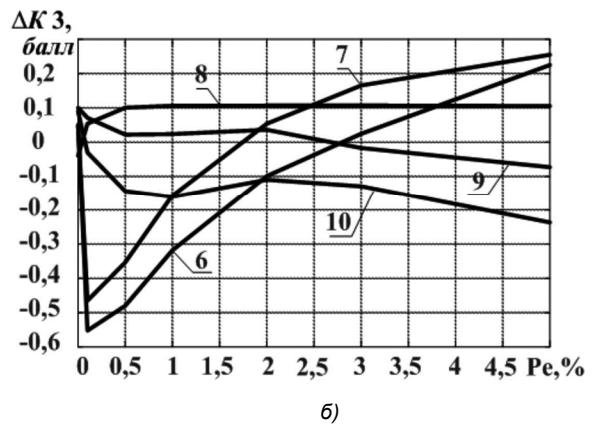
$P_{ош}, \%$	Кодек, наиболее устойчивый к помехам
0	LBRAMR 1 кбит/с.
1	LBRAMR 1 кбит/с.
2	MMBE 1,2 кбит/с.
3	MMBE 2,4 кбит/с.
5	MMBE 2,4 кбит/с.

Таблица 5. Алгоритмы первичного кодирования РС, обеспечивающие наибольшее качество речи при действии помех в канале связи для среднескоростных кодеков

$P_{ош}, \%$	Кодек, наиболее устойчивый к помехам
0	ICELP 6 кбит/с.
1	G.729a 8 кбит/с.
2	G.729a 8 кбит/с.
3	G.729a 8 кбит/с.
5	G.729a 8 кбит/с.

На рис. 5, а представлены зависимости выигрыша качества восстановленной речи на выходе разработанной системы от вероятности ошибок ( $Pe$  %) на канале связи при использовании следующих низкоскоростных кодеков (под цифрой 1 показан кодек MMBE со скоростью передачи 1,2 кбит/с; под цифрой 2 – кодек MMBE со скоростью передачи 2,4 кбит/с; под цифрой 3 – кодек LBRAMR со скоростью передачи 1 кбит/с; под цифрой 4 – кодек LBRAMR со скоростью передачи 1,2 кбит/с; под цифрой 5 – кодек LBRAMR со скоростью передачи 2,4 кбит/с),

На рис. 5, б представлены зависимости качества восстановленной речи для среднескоростных кодеков (под цифрой 6 – кодек G.723.1 со скоростью передачи 5,3 кбит/с; под цифрой 7 – кодек G.723.1 со скоростью передачи 6,3 кбит/с; под цифрой 8 – кодек G.729a со скоростью передачи 8 кбит/с; под цифрой 9 – кодек



ICELP со скоростью передачи 4,8 кбит/с; под цифрой 10 – кодек ICELP со скоростью передачи 6 кбит/с).

Полученные результаты представляют собой среднюю оценку качества восстановления РС. Сравнение качества восстановления сигнала системы, построенной на основе модификации алгоритма Хургина-Яковлева, с системой на основе теоремы В.А. Котельникова выражается через выигрыш качества  $\Delta K_3 = K_{X3} - K_K$ . Анализ рис. 5 позволяет сделать вывод, что использование различных алгоритмов первичного кодирования РС оказывает значительное влияние на качество восстановления сигнала после его передачи по зашумленным каналам:

Как видно из приведенных зависимостей, применение модификации алгоритма Хургина-Яковлева при трехканальной обработке позволяет увеличить качество восстановленной речи до 0,5 баллов согласно ГОСТ Р 50840-95, что позволяет повысить качество восстановленной речи на приеме. Кроме того, показано, что применение модификации алгоритма Хургина-Яковлева позволит повысить дальность помехоустойчивой передачи на 75 км.

Аналогичные выводы справедливы для других подводных систем связи [16...18].

## Заключение

В результате исследований показано, что применение модификации алгоритма Хургина-Яковлева в системах помехоустойчивой подводной связи позволит повысить качество восстановленной речи на 0,3...0,5 согласно ГОСТ Р 50840-95 при действии помех в канале связи до 5 % или повысить дальность передачи на 75 км (меньше уровень помех на 2 %).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (FSSN-2020-0003).

## Литература

- Филиппов Б.И. Выбор метода разделения сигналов в гидроакустическом канале управления / Б.И. Филиппов. Вестник РГРТУ. 2018. № 4 (66) часть 1. С. 29-34. DOI: 10.21667/1995-4565-2018-66-4-1-29-34.

- Филиппов Б.И. Выбор сигналов для гидроакустических каналов связи / Б.И. Филиппов, Г.А. Чернецкий.

Вестник РГРТУ. 2017. № 1 (59). С. 42-51. DOI: 10.21667/1995-4565-2017-59-1-42-52.

3. Филиппов Б.И. Энергетический расчёт гидроакустических линий связи / Б.И.Филиппов. Журнал Вестник АГТУ. Серия Управление, вычислительная техника и информатика, 2016, № 3, с. 67-77

4. Макаров А.И. Передача информации в гидроакустическом канале / А.И. Макаров, В.Д. Дворников, В.К. Конопелько. Доклады БГУИР. 2014 № 2, с. 103-118

5. Денисов В.Е. Пропускная способность гидроакустического канала связи / В.Е. Денисов. Russian Technological Journal, 2023;11(1), Р. 31-40. DOI: 10/32362/2500-316X-2023-11-1-31-40

6. Кириллов С.Н., Дмитриев В.Т. Реализационные возможности и помехоустойчивость процедуры восстановления сигналов. Радиотехника. 2003. № 1. С. 73-75.

7. С.А. Бахурин, В.Т. Дмитриев Исследование точности алгоритмов оценки отсчетов производной в радиотехнических устройствах. Вестник РГРТА Вып. № 13, 2004. С. 32- 35

8. В.Т. Дмитриев Помехоустойчивость кодеков речи на основе алгоритма Хургина-Яковleva. Вестник РГРТА Вып. №12, 2003. С.133-136.

9. Кириллов С.Н., Дмитриев В.Т., Крысяев Д.Е., Попов С.С. Исследование качества передаваемой речевой информации при различном сочетании алгоритмов кодирования источника и канала связи в условиях действия помех. Вестник РГРТУ 2008 № 1 (Выпуск 23). С. 53-56.

10. Кириллов С.Н., Дмитриев В.Т. Adaptive Primary Speech Signals Codecs for Software-Configured Radio Systems. 2020 1<sup>st</sup> International Conference Problems of Informatics, Electronics, and Radio Engineering (PIERE) | 978-1-7281-8990-1/20/00 ©2020 IEEE | DOI: 10.1109/PIERE51041.2020.9314648 IEEE Catalog Number: CFP20Y62-ART ISBN: 978-1-7281-8990-1. С. 32-38

11. Дмитриев В.Т. Адаптация кодека CELP к воздействию акустических помех. Вестник РГРТУ. 2021. № 76, С. 25-34.

12. Дмитриев В.Т., Смирнов М.С. Исследование помехоустойчивой и защищенной системы передачи речевых сигналов на основе представления Хургина-Яковleva. Вестник РГРТУ 2022. № 82. С. 27-37.

13. Дмитриев В.Т. Адаптация кодеков речевых сигналов на основе теоремы В.А. Котельникова и модификации алгоритма Хургина-Яковleva к шумам в канале связи. Цифровая обработка сигналов. № 2. 2023. С. 55-60.

14. Дмитриев В.Т., Лантратов С.Ю. Адаптивный алгоритм кодирования на основе кодека CELP и модификации алгоритма Хургина-Яковлева. Вестник РГРТУ. 2024. № 88. С.21-30

15. Дмитриев В.Т., Ву Хоанг Шон Применение трехканальной модификации алгоритма Хургина-Яковлева в алгоритмах первичного кодирования речевых сигналов. Вестник РГРТУ. 2024. № 88. С.3-14.

16. Дмитриев В.Т., Аронов Л.В. Подводный беспроводный оптический канал с двухцветной схемой передачи данных. Цифровая обработка сигналов. № 2. 2023 С. 61-64.

17. С.Н. Кириллов, В.Т. Дмитриев, Л.В. Аронов. Wireless System of High-Speed Underwater Optical Communication for Transmission for Videodata from a Board of a Submersible. 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/ FarEastCon.2018.8602498.

18. С.Н. Кириллов, И.В. Косткин, В.Т. Дмитриев Оптический канал передачи видеоизображений с подводных мобильных роботов для разных типов волн и климатических зон. Морские информационно-управляющие системы 2014 № 3 (6) С. 44-51.

## НОВЫЕ КНИГИ

**Шарамет А.В.**

**Информационное обеспечение систем защиты летательных аппаратов от управляемых средств поражения: Научное издание, М.: Изд-во «Горячая линия-Телеком», 2023 г. 178 с.: ил.**

Рассмотрены вопросы повышения информативности бортового комплекса обороны летательного аппарата для увеличения эффективности его защиты от управляемого ракетного оружия за счет согласованного помехового, маневренного и огневого противодействия. Изложены и систематизированы основные проблемы по защите летательного аппарата от управляемых средств поражения, а также рассмотрены основные пути повышения эффективности его защиты от них. Даны оценочные расчеты отражательных свойств головок самонаведения управляемых ракет класса «воздух-воздух» и «земля-воздух», как объектов радиолокационного наблюдения. Представлено описание и проведен анализ результатов полунатурного экспериментального исследования. На основе векторно-алгебраического подхода к формализации задач определения координат объектов в многопозиционной измерительной системе проведен синтез алгоритма оценки декартовых координат атакующей ракеты по суммарно- дальномомерной информации.

Для специалистов, занимающихся вопросами защиты летательных аппаратов, научных работников и инженеров. Может быть полезна аспирантам и студентам вузов.

