

Б. И. Филиппов, Г. А. Чернецкий

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ И ПОМЕХ В ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ КАНАЛАХ СВЯЗИ

В процессе распространения гидроакустического сигнала наблюдаются изменения его структуры, которые могут быть разделены на амплитудные и фазовые. Говоря об изменении амплитуды, следует учитывать изменение уровня сигнала с увеличением расстояния от источника и флуктуации уровня сигнала из-за влияния многолучевого распространения волн и случайных изменений коэффициента передачи среды. Изменение уровня с увеличением расстояния от источника сигнала связано с расширением фронта и различного вида потерями. Анализ измерений характеристик гидроакустических сигналов показал, что соответствующие случайные процессы могут быть описаны на основе нормального распределения, которое встречается наиболее часто, и связанных с ним распределений Рэлея, Рэлея – Райса и логарифмически нормального. По результатам анализа предложена модель гидроакустического канала связи, в котором помехи имеют характер аддитивного шума с функцией плотности вероятностей близкой к функции плотности вероятностей гауссова процесса; флуктуации уровня и фазы сигнала проявляются незначительно – не более 20 % от среднего значения, их скорость существенно ниже скорости передачи. Результаты анализа могут найти применение при построении систем гидроакустической телеметрии.

Ключевые слова: гидроакустический канал, помехи, флуктуации уровня и фазы сигнала.

Введение

Состояние проблемы. Статистические характеристики гидроакустических сигналов и помех имеют сложный, часто нестационарный характер [1–4]. Их параметры зависят от состояния океана: температуры воды, солености, глубины, наличия течений, погоды на его поверхности, строения дна, видового состава и численности биологических объектов, интенсивности судоходства и т. д. Определяющее значение имеют протяженность и ориентация предполагаемой линии связи между источником и приемником акустических сигналов. С учётом пространственной ориентации принято подразделять гидроакустические каналы на вертикальные, наклонные и горизонтальные [1, 2, 5]:

- *вертикальные* – линия связи, соединяющая источник и приемник, находится в секторе углов 15° относительно вертикали;
- *наклонные* – линия связи, соединяющая источник и приемник, находится в секторе углов 10° – 35° относительно горизонтали;
- *горизонтальные* – линия связи, соединяющая источник и приемник, находится в секторе углов менее 10° относительно горизонтали.

Сигналы в процессе распространения претерпевают многократные отражения от границ среды и имеют в точке приема ярко выраженный многолучевой характер [2, 5].

В процессе распространения сигналы подвергаются рефракции и также имеют в точке приема многолучевой характер [2, 5].

Согласно [2], траектории лучей остаются прямолинейными при самых больших перепадах среднего значения скорости звука по глубине, если углы выхода лучей из источника сигналов не превышают 80° вертикали. Отмечается слабое проявление многолучевости и замираний; указывается [1], что сигналы, которые распространяются от источника к приемнику по траекториям, находящимся в пределах углов 15° от вертикали, не должны испытывать значительных (более 3–5 %) изменений амплитуды и фазы сигнала.

В соответствии с приведенной классификацией исследуемый нами канал относится к классу гидроакустических каналов связи вертикальной ориентации.

Методы и результаты исследования

В процессе распространения гидроакустического сигнала наблюдаются изменения его структуры, которые могут быть разделены на амплитудные и фазовые. Говоря об изменении

амплитуды, следует учитывать изменение уровня сигнала с увеличением расстояния от источника и флуктуации уровня сигнала из-за влияния многолучевости и случайных изменений коэффициента передачи среды.

Изменение уровня с увеличением расстояния от источника сигнала связано с расширением фронта и различного вида потерями. Природа этих потерь хорошо изучена и описана в [1–6]. Не останавливаясь на их рассмотрении, отметим, что основными причинами потерь акустической энергии являются релаксационные процессы, сдвиговое трение слоёв воды и рассеяние. Учёт этих потерь осуществляется при проведении энергетического расчета соответствующей линии связи.

Флуктуации уровня и фазы гидроакустических сигналов связаны со статистической неоднородностью водной среды и являются следствием случайного изменения коэффициента передачи среды и влияния многолучевости. Часто эти флуктуации называют замираниями сигнала и относят их к помехам.

Помехи в гидроакустических линиях связи по своему характеру разделяют на три основных класса: аддитивные помехи, мультипликативные помехи (замирания) и доплеровский сдвиг частоты [1–8]. В свою очередь, аддитивные помехи классифицируются по статистической структуре и характеру происхождения.

По статистической структуре аддитивные помехи разделяют на три группы: флуктуационные, импульсные (сосредоточенные во времени) и гармонические (сосредоточенные по спектру) [1–4, 8].

По происхождению аддитивные помехи разделяют на природные и технические [1–8]. Среди аддитивных помех природного происхождения выделяют:

- динамические шумы, возникновение которых связано с динамическими процессами, происходящими в океане – тепловым движением молекул; поверхностным волнением; шумами прибоя; схлопыванием воздушных пузырьков, образующихся в верхнем приповерхностном слое воды при обрушивании гребней волн; ударами капель дождя о поверхность;

- шумы ледового происхождения, обусловленные ветром, обтекающим неровности поверхности льда; растрескиванием ледового покрова; торошением ледовых полей; обтеканием течением неровностей нижней границы;

- биологические шумы, связанные своим происхождением с жизнедеятельностью трех основных групп животных: беспозвоночных, рыб и млекопитающих;

- сейсмические шумы, обусловленные тектоническими процессами в недрах Земли.

Помехи технического происхождения разделяют на собственные; шумы носителя; шумы посторонних судов; морских буровых установок; трубопроводов; сигналы посторонних гидроакустических систем (гидромаяки, эхолоты, гидролокаторы, системы гидроакустической связи и т. д.).

Шум в океане представляет собой совокупность полей множества отдельных независимых источников, причем распространение звука от этих источников к точке измерений связано с множеством независимых и случайных искажений. Это позволяет часто характеризовать шум океана нормальным (гауссовым) распределением [1–4, 7–9].

Мультипликативные помехи (замирания сигнала) проявляются в случайном изменении амплитуды $A(t)$ и фазы $\varphi(t)$ гидроакустического сигнала. С точки зрения приёма сигналов замирания эквивалентны увеличению мощности помехи. Они приводят к снижению соотношения сигнал/шум на входе приёмника. Однако особенность замираний заключается в том, что их влияние, в отличие от аддитивных помех, не может быть скомпенсировано увеличением мощности передачи. Вследствие этого, для оценки реальной помехозащищённости приёма сигналов и оценки пропускной способности гидроакустической системы связи, необходимо знать законы распределения мгновенных значений уровня и фазы сигнала на входе приёмника.

Известны работы [1, 7, 8, 10–12], в которых описаны экспериментальные и теоретические исследования флуктуаций амплитуды $A(t)$ и фазы $\varphi(t)$ гидроакустических сигналов.

В большинстве случаев отмечалось, что значения амплитуды сигнала распределены по нормальному закону, законам Рэлея, Рэлея – Райса, причем параметры распределений существенно зависят от структуры и условий образования гидроакустического канала: ориентации относительно дна и поверхности, дистанции между источником сигнала и точкой измерения, диаграмм направленности используемых антенн и др.

Специфическим видом помех являются помехи, связанные с проявлением эффекта Доплера. В гидроакустической системе связи эффект Доплера обусловлен взаимным перемещением излучающей и приёмной антенн, что вызывает появление отличий частоты принимаемого сигнала от частоты передаваемого, приводит к смещению всего спектра частот на величину f_d и изменению ширины его спектра и длительности сигнала. При этом в точке приема значения мгновенной частоты f сигнала, ширины его спектра $2\Delta f$ и длительности T соответственно равны:

$$f = f_0 \frac{C}{C + |\vec{V}_x| \sin \alpha + |\vec{V}_y| \cos \alpha},$$

$$2\Delta f = 2\Delta f_0 \frac{C}{C + |\vec{V}_x| \sin \alpha + |\vec{V}_y| \cos \alpha},$$

$$T = T_0 \frac{C}{C + |\vec{V}_x| \sin \alpha + |\vec{V}_y| \cos \alpha},$$

где C – скорость звука в морской воде; \vec{V}_x и \vec{V}_y – горизонтальная и вертикальные составляющие скорости взаимного перемещения излучающей и приемной антенн; α – угол между вертикалью и линией, соединяющей излучающую и приемную антенны; f_0 , $2\Delta f_0$, T_0 – мгновенная частота, ширина спектра и длительность излучаемого сигнала соответственно.

В реальных условиях величины скоростей \vec{V}_x и \vec{V}_y малы по сравнению со скоростью звука C , абсолютное значение доплеровского сдвига частоты $f_d = f_0 - f$ будет незначительным (не более десятков Гц). Возникающее при этом смещение спектра частот может быть учтено при выборе полосы пропускания приёмника ее увеличением на величину $2f_d$. Соответствующие изменения мгновенной частоты и длительности сигналов из-за эффекта Доплера в практических системах передачи дискретной информации компенсируются системой тактовой синхронизации. При корректном выборе параметров аппаратуры влияние эффекта Доплера сводится к снижению помехоустойчивости приема за счет введения некоторой эквивалентной помехи, вызванной расширением полосы пропускания приемника и работой системы синхронизации.

Большой объем экспериментальных исследований статистических характеристик сигналов и помех в гидроакустических каналах вертикальной ориентации в диапазоне от 28 до 32 кГц и от 47 до 50 кГц выполнен в Сибирской государственной академии телекоммуникаций и информатики [7, 11–17].

Исследования проводились в Тихом океане, в районе, прилегающем к Курильской гряде и пристани Угольной (на глубинах до 1,5 км), на Черном море, в его глубоководной части (на глубинах 1800–2000 м), в Средиземном море и в Атлантическом океане (на глубинах до 5400 м).

В результате исследований получены оценки следующих вероятностных характеристик и параметров сигналов и помех:

- одномерная функция плотности вероятностей (ФПВ) уровня шума $W(U)$, оценки математического ожидания m_U и дисперсии шума σ_U^2 ;
- одномерная ФПВ уровней принимаемого гидроакустического сигнала $W(E)$, оценки их математического ожидания m_E и дисперсии σ_E^2 ;
- одномерная ФПВ фазы принимаемых гидроакустических сигналов $W(\varphi)$, оценки их математического ожидания m_φ , дисперсии σ_φ^2 ;
- нормированная корреляционная функция амплитуды сигнала $R(\tau)$ и интервал корреляции τ_0 .

Согласно результатам измерений, затухание сигнала в канале связи, в зависимости от протяженности линии связи, изменяется по закону, близкому к квадратичному, что соответствует теоретическим моделям [11, 15].

Анализ данных измерений характеристик гидроакустических сигналов позволяет утверждать, что соответствующие случайные процессы могут быть описаны на основе нормального распределения и связанных с ним распределениями Рэлея, Рэлея – Райса и логарифмически нормальным. При этом нормальное распределение встречается наиболее часто [12].

Данные наиболее характерных измерений приведены на рис. 1. Результаты аппроксимации экспериментальных ФПВ показаны сплошными линиями на рис. 1, а, б, в. Согласие теоретических ФПВ $W(x)$ и экспериментальных данных $W^*(x)$ оценивалось с помощью критерия согласия Пирсона (критерия χ^2); на уровне значимости 0,005 теоретические ФПВ, приведенные на рис. 1, не противоречат экспериментальным.

Анализ экспериментальных ФПВ уровня сигнала $W^*(U)$ позволяет сделать вывод о том, что в точке приема сигнал существенно превышает уровень шумов. При глубине погружения источника сигнала 2000 м и электрической мощности сигнала, подводимого к передающей антенне, равной 0,7 Вт, отношение среднего уровня сигнала к среднему уровню шума m_E/m_U менялось на порядок в пределах от 150 (при работе в центре зоны связи) до 15 (на краю зоны связи), что указывает на имеющийся запас мощности сигнала. Средний уровень шумов m_E на выходе измерительного усилителя с коэффициентом передачи $K_{yc} = 250$ при вертикальной ориентации приемной антенны был стабильным и не превышал 0,5 мВ; типичная гистограмма уровней шума приведена на рис. 1, г.

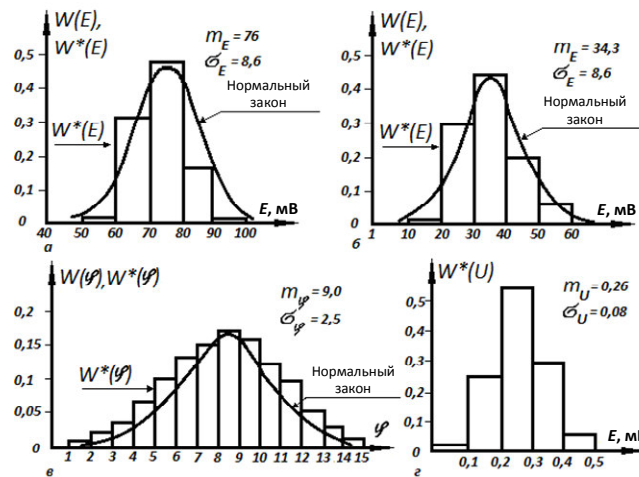


Рис. 1. Функция плотности вероятностей в гидроакустическом канале вертикальной ориентации:
а, б – уровней сигнала; в – фазы сигнала; г – уровня шума

Исследования подтвердили предположение о том, что применение направленных гидроакустических антенн с экранировкой тыльного направления позволяет значительно ослабить влияние на прием сигналов реверберационной помехи, вызванной обратным рассеянием звука на границах «вода-воздух», «вода-дно». Косвенным подтверждением этого служит тот факт, что в процессе проведения натурных испытаний аппаратуры [3, 14] на судне устойчиво фиксировались отраженные от дна, на глубине 2000 м, сигналы команд управления с уровнем достаточным для их приема. Последнее предполагает, во-первых, применение специальных мер для надежного различения сигналов ответа гидроакустической автономной донной станции (ГДАС) от сигналов команд управления, отраженных от дна; во-вторых, возможность ухудшения помеховой обстановки в канале связи при необоснованном увеличении мощности передачи сигналов.

Применение направленных антенн выявило зависимость параметров распределений уровня (рис. 1, а, б) и фазы (рис. 1, в) от степени волнения моря. Флуктуации уровня и фазы сигналов объясняются качкой судна и изменением пространственной ориентации опускаемых с него гидроакустических антенн. Во всех случаях при волнении моря до 5 баллов отношение среднего уровня сигнала к его среднеквадратичному отклонению $m_E / \sigma_E > 3,9$.

На рис. 2 приведена функция корреляции одной из наиболее характерных выборок сигнала. Видно, что существенные изменения сигнала наблюдаются на интервале > 1 с.

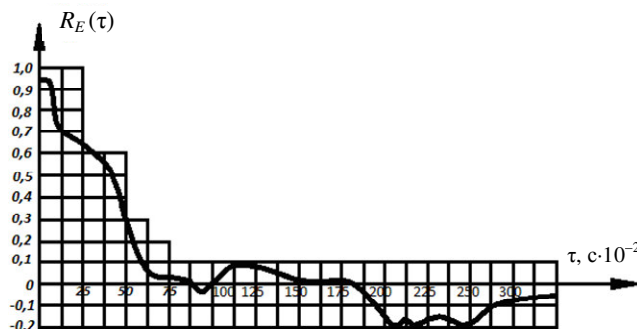


Рис. 2. Функция корреляции сигнала

В ходе рейса научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев» были получены оценки влияния эффекта Доплера на работу аппаратуры гидроакустического канала связи. При обмене сигналами между ГДАС и судном, движущимся по поверхности со скоростью до 2 узлов при волнении моря до 5 баллов, сдвиг частоты принимаемого сигнала соответствовал 10^{-3} от номинального значения несущей.

Выводы

Приведенные данные позволяют принять для последующего анализа следующую модель гидроакустического канала связи, в котором:

- отсутствует явление рефракции, сигнал от источника до приемника распространяется прямолинейно;
- ослабление (затухание) сигнала при передаче происходит из-за расширения фронта волны и поглощения в среде;
- помехи имеют характер аддитивного шума с ФПВ близкой к ФПВ гауссова процесса;
- скорость флуктуаций уровня и фазы сигнала существенно ниже скорости передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасюк Ю. Ф. Гидроакустическое телеуправление / Ю. Ф. Тарасюк. Л.: Судостроение, 1985. 200 с.
2. Матвиенко В. Н. Дальность действия гидроакустических средств / В. Н. Матвиенко, Ю. Ф. Тарасюк. Л.: Судостроение, 1981. 205 с.
3. Чверткин Е. И. Гидроакустическая телеметрия в океанологии / Е. И. Чверткин. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 148 с.
4. Урик Р. Д. Основы гидроакустики / Р. Д. Урик. Л.: Судостроение, 1978. 448 с.
5. Митько В. Б. Гидроакустические средства связи и наблюдения / В. Б. Митько, А. П. Евтюнов, С. Е. Гушин. Л.: Судостроение, 1982. 200 с.
6. Евтюнов А. П. Примеры инженерных расчетов в гидроакустике / А. П. Евтюнов, В. Б. Митько. Л.: Судостроение, 1981. 256 с.
7. Разработка принципов и устройств передачи геофизической информации по гидроакустическому каналу связи: отчет о НИР / НЭИС им. Н. Д. Псурцева; рук. Макаров А. А., Чиненков Л. А. Новосибирск, 1982. 76 с. № ГР 81019632. Инв. N 02830014986.
8. Евтюнов А. П. Справочник по гидроакустике / А. П. Евтюнов, А. Е. Колесников, А. П. Ляликов и др. Л.: Судостроение, 1982. 344 с.
9. Акустика океана / под ред. А. М. Бреховских. М.: Наука, 1974. 250 с.
10. Чернов Л. А. Корреляция амплитуды и фазы при распространении волн в среде со случайными неоднородностями / Л. А. Чернов // Акустический журнал. 1955. Т. 1, № 1. С. 89–95.
11. Анализатор характеристик гидроакустических каналов связи: отчет о НИР / НЭИС им. Н. Д. Псурцева; рук. А. А. Макаров, Г. А. Чернецкий. Новосибирск, 1985. 77 с. № ГР 0184000588, Инв. № 02860021414.
12. Ковязин В. И. Статистические характеристики гидроакустических каналов для АДС / Г. И. Криволапов, А. А. Макаров, Г. А. Чернецкий // Морская сейсмология и сейсмометрия. М.: Ин-т океанологии АН СССР, 1989. С. 74–80.
13. Криволапов Г. И. Результаты испытания аппаратуры двусторонней гидроакустической связи для автономных донных станций / Г. И. Криволапов, Л. А. Потеряева, Г. А. Чернецкий // Методика и техника сейсмоакустических и вибросейсмических исследований на акваториях: сб науч. тр. под ред. В. И. Добринского. Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1988. С. 10–16.

14. Криволапов Г. И. Некоторые результаты испытаний АГАС для управления и диагностики ДСС / Г. И. Криволапов, А. А. Макаров, Н. И. Постников, Г. А. Чернецкий // Методика и техника сейсмоакустических и вибросейсмических исследований на акваториях: сб. науч. тр. под ред. В. И. Добринского. Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1988. С. 17–25.

15. Разработка принципов и устройств передачи геофизической информации по гидроакустическому каналу связи. Отчет о НИР. НЭИС им. Н. Д. Псурцева; рук. Макаров А. А., Чиненков Л. А. Новосибирск, 1983. 55 с. № ГР 81019632. Инв. № 02830079562.

16. Аппаратура управления автономными донными сейсмическими станциями. Отчет о НИР / НЭИС им. Н. Д. Псурцева; рук.: Макаров А. А., Чернецкий Г. А. Новосибирск, 1987. 75 с. № ГР 01840005880. Инв. № 020880016084.

17. Прибылов В. П. Исследование и разработка алгоритмов передачи информации в каналах связи со значительным временем распространения сигналов: дис. ... канд. техн. наук / В. П. Прибылов. Новосибирск, СибГУТИ, 2003. 155 с.

Статья поступила в редакцию 5.05.2015

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Филлипов Борис Иванович – Россия, 630073, Новосибирск; Новосибирский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры «Защита информации»; filippov-boris@rambler.ru.

Чернецкий Геннадий Александрович – Россия, 630102, Новосибирск; Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики; канд. техн. наук, профессор; зав. кафедрой «Радиотехнические системы» (умер в 2009 г.).



B. I. Filippov, G. A. Chernetskiy

ANALYSIS OF STATISTICAL CHARACTERISTICS OF SIGNALS AND NOISES IN HYDROACOUSTIC COMMUNICATION CHANNELS

Abstract. In the course of distribution of the hydroacoustic signal the structure undergoes some changes, which can be divided into amplitude and phase. Speaking about the change of the amplitude, it is necessary to consider the change of the signal level with increase in distance from the source and fluctuation of the signal level because of the influence of the multipath distribution of the waves and casual changes of transmission factor of the medium. Change of the level with increase in distance from the source of the signal is connected with expansion of the border and various losses. The analysis of the measurements of the characteristics of hydroacoustic signals showed that the corresponding casual processes can be described on the basis of normal frequently met distribution and co-related distributions: Rayleigh, Rayleigh – Rice and lognormal. By the results of the analysis a model of a hydroacoustic communication channel, in which noises have some kind of additive noise with the function of density of probabilities close to the function of density of probabilities of Gaussian process, is offered. Fluctuations of the level and the signal phase are shown slightly, no more than 20 % of average value, their speed is significantly lower than transmission speed. The results of the analysis can find their application while creating the systems of hydroacoustic telemetry.

Key words: hydroacoustic channel, noises, level fluctuations and signal phases.

REFERENCES

1. Tarasiuk Iu. F. *Gidroakusticheskoe teleupravlenie* [Hydroacoustic distance control]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1985. 200 p.
2. Matvienko V. N., Tarasiuk Iu. F. *Dal'nost' deistviia gidroakusticheskikh sredstv* [Remoteness of the hydroacoustic means availability]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1981. 205 p.

3. Chvertkin E. I. *Gidroakusticheskaia telemekhika v okeanologii* [Hydroacoustic telemetry in oceanology]. Leningrad, Izdatel'stvo LGU, 1978. 148 p.
4. Urik R. D. *Osnovy gidroakustiki* [The fundamentals of hydroacoustics]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1978. 448 p.
5. Mit'ko V. B., Evtiutov A. P., Gushchin S. E. *Gidroakusticheskie sredstva svyazi i nabludeniia* [Hydroacoustic means of communication and control]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1982. 200 p.
6. Evtiutov A. P., Mit'ko V. B. *Primery inzhenernykh raschetov v gidroakustike* [Examples of engineering calculations in hydroacoustics]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1981. 256 p.
7. Razrabotka printsipov i ustroystv peredachi geofizicheskoi informatsii po gidroakusticheskomu kanalu svyazi [Development of the principles and means of transmission of geophysical information via hydroacoustic communication channel]. *Otchet o NIR. NEIS im. N. D. Psurtseva*. Rukovoditeli: Makarov A. A., Chinenkov L. A. Novosibirsk, 1982. 76 p. № GR 81019632. Inv. № 02830014986.
8. Evtiutov A. P., Kolesnikov A. E., Lialikovi A. P. I dr. *Spravochnik po gidroakustike* [Reference on hydroacoustics]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1982. 344 p.
9. *Akustika okeana* [Ocean acoustics]. Pod redaktsiei A. M. Brekhovskikh. Moscow, Nauka Publ., 1974. 250 p.
10. Chernov L. A. Korreliatsiia amplitudy i fazy pri rasprostraneni voln v srede so sluchainymi neodnorodnostiami [Correlation of the amplitude and phase of wave distribution in the medium with casual obstacles]. *Akusticheskii zhurnal*, 1955, vol. 1, no. 1, pp. 89–95.
11. Analizator kharakteristik gidroakusticheskikh kanalov svyazi [Analizing device of the characteristics of hydroacoustic communication channels]. *Otchet o NIR. NEIS im. N. D. Psurtseva*. Rukovoditeli: Makarov A. A., Chernetskii G. A. Novosibirsk, 1985. 77 p.
12. Koviazin V. I., Krivolapov G. I., Makarov A. A., Chernetskii G. A. Statisticheskie kharakteristiki gidroakusticheskikh kanalov dlia ADS [Statistical characteristics of hydroacoustic channels for autonomous bottom stations]. *Morskaia seismologiya i seismometriia*. Moscow, Institut okeanologii AN SSSR, 1989. P. 74–80.
13. Krivolapov G. I., Poteriaeva L. A., Chernetskii G. A. Rezul'taty ispytaniia apparatury dvustoronnei gidroakusticheskoi svyazi dlia avtonomnykh donnykh stantsii [The results of the tests of the apparatus of bidirectional hydroacoustic coupling for autonomous bottom stations]. *Metodika i tekhnika seismoakusticheskikh i vibroseismicheskikh issledovani na akvatoriiakh*. Sbornik nauchnykh trudov pod redaktsiei V. I. Dobrinskogo. Novosibirsk, VTs SO AN SSSR, 1988. P. 10–16.
14. Krivolapov G. I., Makarov A. A., Postnikov N. I., Chernetskii G. A. Nekotorye rezul'taty ispytaniia AGAS dlia upravleniia i diagnostiki DSS [Some results of the tests of autonomous hydroacoustic systems to control and examine bidirectional communication]. *Metodika i tekhnika seismoakusticheskikh i vibroseismicheskikh issledovani na akvatoriiakh*. Sbornik nauchnykh trudov pod redaktsiei V. I. Dobrinskogo. Novosibirsk, VTs SO AN SSSR, 1988. P. 17–25.
15. Razrabotka printsipov i ustroystv peredachi geofizicheskoi informatsii po gidroakusticheskomu kanalu svyazi [Development of the principles and devices for transmission of geophysical information via hydroacoustic communication channel]. *Otchet o NIR. NEIS im. N. D. Psurtseva*. Rukovoditeli: Makarov A. A., Chinenkov L. A. Novosibirsk, 1983. 55 p. № GR 81019632. Inv. № 02830079562.
16. Apparatura upravleniia avtonomnymi donnymi seismicheskimi stantsiiami [Apparatus of control of autonomous bottom seismic stations]. *Otchet o NIR. NEIS im. N. D. Psurtseva*. Rukovoditeli: Makarov A. A., Chernetskii G. A. Novosibirsk, 1987. 75 p. № GR 01840005880. Inv. № 020880016084.
17. Pribylov V. P. *Issledovanie i razrabotka algoritmov peredachi informatsii v kanalakh svyazi so znachitel'nym vremenem rasprostraneniia signalov. Dissertatsiia kand. tekhn. nauk* [Study and development of the algorithms of information transmission in communication channels with the enough amount of time of signal distribution. Dis. cand. tech. sci.]. Novosibirsk, SibGUTI, 2003. 155 p.

The article submitted to the editors 5.05.2015

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Filippov Boris Ivanovich – Russia, 630073, Novosibirsk; Novosibirsk State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department "Information Protection"; filippov-boris@rambler.ru.

Chernetskii Gennadiy Aleksandrovich – Russia, 630073, Novosibirsk; Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences; Candidate of Technical Sciences, Professor; Head of the Department "Radio technical Systems" (died in 2009).

