

## ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 621.396

### ПОМЕХИ В ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ КАНАЛАХ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ\*

Б.И. ФИЛИПPOB<sup>1</sup>, Ю.В. ЗАМЯТИНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доцент, кандидат технических наук. E-mail: filippovboris@rambler.ru

<sup>2</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет. E-mail: zamiatina.abs323@gmail.com

В статье рассматриваются особенности помех в гидроакустических каналах. Гидроакустические помехи связаны либо с шумами морской среды, либо с шумами носителя аппаратуры гидроакустического канала связи. Под шумами среды понимают шумы собственно моря (динамические шумы), подледные, биологические, сейсмические и технические шумы. Шумы среды выступают в качестве естественного поля помех, не поддающегося регулированию и определяющего технически целесообразный предел снижения собственных шумов аппаратуры гидроакустического канала связи. Шумы носителей аппаратуры гидроакустического канала связи обусловлены излучением в воду акустической энергии в широком диапазоне частот вследствие работы гребного винта, работы машин, вспомогательных механизмов и взаимодействия корпуса корабля с набегающим потоком воды. По характеру взаимодействия с сигналом помехи классифицируют на аддитивные и мультипликативные. Вклад отмеченных источников в суммарном поле помех зависит от ряда факторов, таких как скорость судна, место размещения и конструкция обтекателя и т. д. Количественную оценку влияния помех на прием гидроакустических сигналов характеризуют применением корреляционных функций или спектров мощности (интенсивности), которые позволяют оценивать уровень шума, воспринимаемый приемной акустической антенной. С точки зрения приема сигналов мультипликативные помехи эквивалентны увеличению мощности помехи. Они приводят к снижению соотношения сигнал/шум на входе приемника. Однако их особенность заключается в том, что их влияние, в отличие от аддитивных помех, не может быть компенсировано увеличением мощности передачи. Поэтому для оценки реальной помехозащищенности приема сигналов и оценки пропускной способности гидроакустической системы связи необходимо знать законы распределения мгновенных значений уровня и фазы сигнала на входе приемника. Специфическим видом помех являются помехи, связанные с проявлением эффекта Доплера. В гидроакустической системе связи эффект Доплера обусловлен взаимным перемещением излучающей и приемной антенн. В ре-

---

\* Статья получена 03 сентября 2016 г.

зультате исследований получены оценки одномерной функции плотности уровня шума  $W(U)$ , оценки математического ожидания  $m_U$  и дисперсии шума  $\sigma_U^2$ .

**Ключевые слова:** гидроакустический канал, аддитивные помехи, мультипликативные помехи, эффект Доплера, амплитуды сигнала и помехи, фазы сигнала и помехи, соотношения сигнал/шум, помехоустойчивость, математическое ожидание и дисперсия шума

DOI: 10.17212/2307-6879-2016-4-83-97

## ВВЕДЕНИЕ

Акустическое поле помех в точке приема образуется различными источниками, каждый из которых, в свою очередь, может формировать одну или несколько составляющих поля помех, отличающихся характером спектра и абсолютными значениями давления. Наложение совокупности составляющих поля приводит к образованию суммарного поля помех.

Гидроакустические помехи связаны либо с шумами морской среды, либо с шумами носителя аппаратуры гидроакустического канала связи.

Под шумами среды понимают шумы собственно моря (динамические шумы), подледные, биологические, сейсмические и технические шумы. Шумы среды выступают в качестве естественного поля помех, не поддающегося регулированию и определяющего технически целесообразный предел снижения собственных шумов аппаратуры гидроакустического канала связи.

Шумы носителей аппаратуры гидроакустического канала связи обусловлены излучением в воду акустической энергии в широком диапазоне частот вследствие работы гребного винта, работы машин и вспомогательных механизмов и взаимодействия корпуса корабля с набегающим потоком воды.

## 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

По характеру взаимодействия с сигналом помехи классифицируют на аддитивные и мультипликативные.

*Аддитивные помехи* по своей статистической структуре могут быть разделены на три группы: флуктуационные (распределенные по частоте и времени), импульсные (сосредоточенные по времени) и гармонические (сосредоточенные по спектру) [6].

Наиболее распространенной помехой является флуктуационная [1], представляющая собой бесконечную сумму излучений многочисленных источников. Примером может служить кавитационный шум, возникающий при работе гребного винта. Кавитационный шум – это непрерывный процесс появления,

колебания и последующего разрушения воздушно-газовых пузырьков, сопровождающийся излучением акустической энергии. Флуктуационный характер носят шумы механизмов, а также гидродинамический шум [1].

К *импульсным помехам* относят помехи в виде одиночных импульсов, следующих один за другим через такие промежутки времени, что переходные процессы в приемном тракте успевают практически затухнуть к моменту прихода следующего импульса. Примером может служить работа гидролокаторов соседних кораблей, работа собственного эхолота и другие импульсные возмущения, регистрируемые приемной антенной.

Импульсные помехи представляют собой дискретный случайный процесс, состоящий из отдельных редких случайно распределенных по времени и амплитуде импульсов.

Под гармонической помехой понимают аддитивную помеху, энергетический спектр которой сосредоточен в сравнительно узкой полосе частот по сравнению с полосой полезного сигнала. К числу таких помех следует отнести дискретные составляющие в спектре первичного поля носителя, обусловленные работой гребного винта, машин и механизмов и воспринимаемые акустической антенной.

Причины возникновения гидроакустических помех различны. Основными источниками гидроакустических помех, оказывающих существенное влияние на каналы вертикальной ориентации, являются [2] следующие:

- динамические шумы, обусловленные динамикой морских волн, турбулентных потоков в воде и атмосфере, шумом прибора, подводным шумом дождя, естественной кавитацией и т. д.;
- подледные шумы, возникновение которых связано с образованием и динамикой ледового покрова, взаимодействием его неровностей с ветром и подводными течениями;
- биологические шумы, создаваемые различными представителями морской фауны;
- сейсмические шумы, вызванные тектонической и вулканической деятельностью, а также сопровождающие образование волн цунами и т. д.;
- технические шумы, являющиеся следствием деятельности человека, в том числе шумы судоходных трасс, шумы в гаванях и прибрежных районах от технических сооружений и т. д.

*Динамические шумы.* Отмечаются во всех районах океана при любых гидрометеорологических условиях. Основными источниками этих шумов являются турбулентные потоки в воде и атмосфере, а также стоячие поверхностные волны. Близость судоходных трасс и малое затухание низких частот приводят к повышению уровня шума в диапазоне частот от 20 до 100 Гц [2].

В звуковом диапазоне частот помимо шумов турбулентных потоков присутствует шум, вызванный кавитационными процессами и разрушением ветровых волн, а также шум дождя.

Обобщение экспериментальных данных позволяет отметить, что если в спектре шума нет тональных составляющих, законы распределения мгновенных значений и огибающей шума не зависят от локальных гидрометеорологических условий и частоты. При этом распределение мгновенных значений подчиняется закону Гаусса, а огибающей – закону Релея [2].

*Шум моря* порождается волнами, приливно-отливными течениями, прибоем, перемещением гальки под воздействием волн и т. д. При этом уровень такого шума существенно зависит от силы ветра и высоты волны. Этот шум распределен в широком диапазоне частот (как правило, анализ проводится для диапазона частот 0,1...10 кГц) [2, 3].

Естественные осадки значительно повышают уровень собственных шумов моря в спектре частот от 1 Гц до 15...30 кГц – в зависимости от их интенсивности и силы ветра (от слабого до ураганного).

*Подледные шумы.* В случае, когда гидроакустический канал связи развертывается подо льдом, также приходится учитывать шумы, создаваемые последним. В числе причин возникновения шумов льда можно указать следующие [2, 3]:

- термическое растрескивание при смене температуры воздуха, воды или льда;
- трение льдин океана друг о друга при сжатии или дрейфе;
- дробление льда;
- колебание льдин и ледовых полей;
- перемещение ветром снега по поверхности льда;
- взаимодействие гранулированной поверхности льда с ветром и пр.

Изменение уровня подледных шумов зависит от изменений скорости ветра. При отсутствии ветра подледный шум незначителен. Спектры этих шумов занимают диапазон от 0,06...1 кГц (растрескивание льда) до 1...10 кГц (шумы из-за взаимодействия ветра со льдом).

*Биологические шумы.* Звуки, создаваемые живыми организмами в море, многочисленны и разнообразны. Наиболее высокие из биологических шумов своим происхождением обязаны богатой и разнообразной фауне морей и океанов [3].

*Сейсмические шумы.* Сейсмические процессы, происходящие на Земле практически постоянно, являются источниками низкочастотного шума. Особенности спектра инфразвукового диапазона связаны как с небольшим затуханием акустических колебаний на этих частотах в водной среде, так и с участием значительных районов океана в формировании поля шумов в точке приема. Полосы частот, занимаемые такого рода помехами, составляют: сей-

смические шумы 0,1...25 Гц, спектр подводного шума извержения вулкана 1...100 Гц [2, 3].

*Шумы судоходства* – результат сложения шумовых полей большого числа кораблей, на который оказывают влияние условия распространения звука. В любой момент в океане находятся десятки тысяч кораблей. Каждый из них является источником подводного шума в широком диапазоне частот. Шумовые поля кораблей характеризуются наличием сплошного спектра (фона) и дискретных составляющих на частотах работы машин, механизмов и их гармониках. При движении судна в спектре его шума появляются дополнительные дискретные составляющие и сплошной кавитационный шум. Шумы судоходства имеют значительные уровни в широком диапазоне частот – от 1 Гц до 45 кГц [2]. Среди них можно выделить:

- шумы, связанные с работой гребных винтов;
- шумы машин и вспомогательных механизмов;
- гидродинамические шумы.

Особую группу составляют шумы носового буруна, а также шумы судна, рассеянные дном, поверхностью моря, другими неоднородностями и регистрируемые акустической антенной.

Вклад отмеченных источников в суммарном поле помех зависит от ряда факторов, таких как скорость судна, место размещения и конструкция обтекателя и т. д.

На малой скорости судна акустическое поле помех формируется в основном шумами механизмов и машин, шумами гребных винтов. Шум механизмов проявляется чаще на низких частотах в виде дискретных составляющих в спектре помех. Поскольку практически независимо от режима движения эти механизмы работают с постоянным числом оборотов, шум механизмов и машин с увеличением скорости носителя растет незначительно. На уровень помехи наибольшее влияние оказывают механизмы, расположенные в непосредственной близости от антенны.

Шумы гребных винтов начинают сказываться, начиная со скоростей 18...22 км/ч [2].

На определенной скорости возможно возникновение носового буруна, который приведет к увеличению уровня помехи. Наиболее интенсивный шум носовой бурун создает на частотах ниже 10 кГц [4].

Гидродинамические шумы возникают при обтекании корпуса судна и гребных винтов встречным потоком воды, источником которых является сам корпус судна. Являясь незначительным на малой скорости, гидродинамический шум возрастает с увеличением скорости судна. На больших скоростях гидродинамический шум от участков корпуса, расположенных вблизи антенны, может стать преобладающим в поле помех.

В общем случае аппаратура гидроакустического канала связи представляет собой источник шумов электрического происхождения. Однако внутренние шумы аппаратуры по уровню значительно меньше внешних, поэтому ими можно пренебречь. С наводками от электроаппаратуры борются путем улучшения качества монтажа приборов, тщательной экранировки всех цепей, применения независимых источников питания и т. д. В результате этого уровни этих помех минимизируются и не оказывают существенного влияния на прием.

Реверберационные шумы возникают в результате обратного рассеяния гидроакустического сигнала на границах «вода – воздух», «вода – дно» [4]. Соответственно, частоты реверберационной помехи будут равны частотам передаваемого сигнала и будут отличаться от него амплитудой и фазой.

## 2. МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Количественную оценку влияния помех на прием гидроакустических сигналов обычно характеризуют с применением корреляционных функций или спектров мощности (интенсивности), которые позволяют оценивать уровень шума, воспринимаемый приемной акустической антенной.

Спектр мощности (интенсивности)  $S_I(f)$  характеризует распределение мощности (интенсивности  $I$ ) помехи по частоте и определяется величиной, имеющей размерность  $[\text{Вт}/\text{м}^2]$ , Гц.

$$S_I(f) = \frac{dI}{df}.$$

Интенсивность шума в полосе частот от  $f_1$  до  $f_2$  при этом определяется как

$$I_{\Delta f} = \int_{f_1}^{f_2} S_I(f) df.$$

Наряду со спектральной плотностью интенсивности оперируют спектральной плотностью квадрата акустического давления  $S_P(f)$

$$S_P(f) = \frac{d\overline{P^2(t)}}{df}. \quad (1)$$

Квадрат акустического давления в полосе частот находят из выражения

$$\overline{P^2(t)} = \int_{f_1}^{f_2} S_P(f) df .$$

Эти две характеристики общего уровня помех связаны соотношением

$$I = \frac{P^2}{\rho c} ,$$

где  $P$  – давление, Па;  $\rho c$  – волновое сопротивление среды.

График зависимости спектральной плотности мощности помех от частоты строят в логарифмическом масштабе [4], используя величину

$$N = 10 \lg S_P(f) / P_0^2 ,$$

где  $P_0$  – начальный (эталонный) уровень давления. При расчетах функцию  $S_P(f)$  обычно аппроксимируют зависимостью вида  $af^{-n}$  [4], что хорошо согласуется с экспериментальными данными, здесь  $n$  – положительное целое или дробное число (показатель скорости спада спектра помех),  $a$  – размерная постоянная.

Тогда

$$N = (10 \lg a - 10n \lg f - 20 \lg p_0) . \quad (2)$$

В двойном логарифмическом масштабе уравнение (2) имеет вид прямой линии, откуда легко получить численные значения  $a$  и  $n$  (рис. 1). Используя формулу (2) и рис. 1, определяем величины  $a$  и  $n$ :

$$n = \frac{N_1 - N_2}{10(\lg f_2 - \lg f_1)} ,$$

$$\lg a = \frac{N_1 \lg f_2 - N_2 \lg f_1}{10(\lg f_2 - \lg f_1)} .$$

Зная  $S_P(f)$ , можно определить средний квадрат давления по формуле (1), откуда

$$\overline{P^2(t)} = \frac{a}{n-1} \frac{f_2^{n-1} - f_1^{n-1}}{f_2^{n-1} f_1^{n-1}} .$$

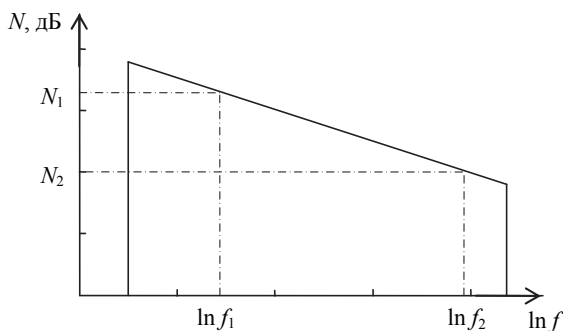


Рис. 1. Спектрограмма шума в двойном логарифмическом масштабе

Эффективное значение давления в полосе частот от  $f_1$  до  $f_2$  находят по формуле

$$P_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{a}{n-1} \frac{f_2^{n-1} - f_1^{n-1}}{f_2^{n-1} f_1^{n-1}}}.$$

Часто в расчетах убывающий с частотой спектр заменяют эквивалентным по энергии равномерным спектром со спектральной плотностью [4]

$$S_P(f) = af_3^{-n},$$

где  $f_3$  – эквивалентная частота, определяемая из выражения

$$f_3 = \sqrt{\frac{(n-1)(f_2 - f_1)f_2^{n-1} - f_1^{n-1}}{f_2^{n-1} - f_1^{n-1}}}. \quad (3)$$

В случае, если  $n = 2$ , т. е. когда спад спектра равен 6 дБ на октаву (принимается в большинстве практических применений), эквивалентная частота является средней геометрической, что следует из (3):

$$f_3 = \sqrt{f_1 f_2}.$$

На рис. 2 представлены спектральные характеристики шумов моря [4], являющихся источниками помех приему гидроакустических сигналов, которые могут быть использованы в инженерных расчетах.



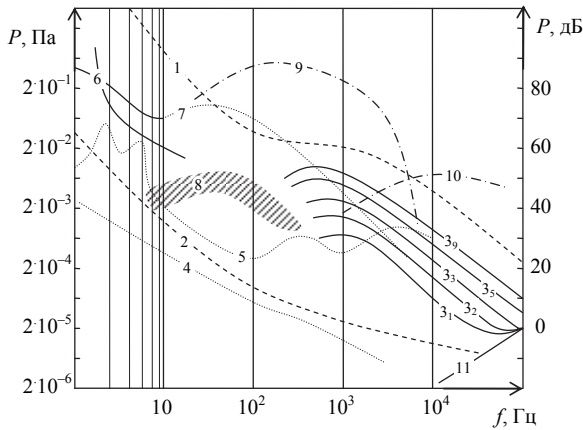


Рис. 2. Спектральные характеристики источников помех в гидроакустическом канале связи:

1, 2 – максимальный и минимальный уровни шумов моря; 3 – шум волнения моря (индексы – баллы скорости ветра); 4, 5 – подледные шумы; 6 – сейсмический фонд; 7 – шумы судоходства; 8 – шумы судоходных трасс; 9, 10 – шумы биологического происхождения; 11 – тепловой шум моря

Мультипликативные помехи проявляются в случайном изменении амплитуды и фазы принимаемого гидроакустического сигнала.

Мультипликативные помехи эквивалентны увеличению мощности помехи [6]. Они приводят к снижению соотношения сигнал/шум на входе приемника. Однако их особенность заключается в том, что их влияние, в отличие от аддитивных помех, не может быть скомпенсировано увеличением мощности передачи. Поэтому для оценки реальной помехозащищенности приема сигналов и оценки пропускной способности гидроакустической системы связи необходимо знать законы распределения мгновенных значений уровня и фазы сигнала на входе приемника. Одной из причин возникновения мультипликативных помех является изменение ориентации диаграммы направленности гидроакустической антенны судовой части за счет движения судна на волнах.

Известно большое число работ [3, 7–11], в которых выполнены экспериментальные и теоретические исследования флуктуаций амплитуды  $A(t)$  фазы  $\varphi(t)$  гидроакустических сигналов.

В большинстве случаев отмечалось, что амплитуды сигнала распределены по нормальному закону, законам Релея, Релея–Райса. Причем параметры рас-

пределений существенно зависят от структуры и условий образования гидроакустического канала: ориентации относительно дна и поверхности, дистанции между источником и точкой измерения, диаграмм направленности используемых антенн и других.

*Доплеровская помеха.* Специфическим видом помех являются помехи, связанные с проявлением эффекта Доплера. В гидроакустической системе связи эффект Доплера обусловлен взаимным перемещением излучающей и приемной антенн.

Эффект Доплера вызывает появление отличия частоты принимаемого сигнала от частоты передаваемого, приводит к смещению всего спектра частот на величину  $f_d$ , к изменению его ширины и длительности сигнала. При этом в точке приема значения мгновенной частоты  $f$  сигнала, его ширины 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;  $\alpha$  – угол между вертикалью и линией, соединяющей излучающую и приемную антенны;  $f_0$ ,  $2\Delta f_0$ ,  $T_0$  – соответственно мгновенная частота, ширина спектра и длительность излучаемого сигнала.

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 [12–16].

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

На рис. 3 приведены типичные данные измерения плотности вероятности уровня шума [12].

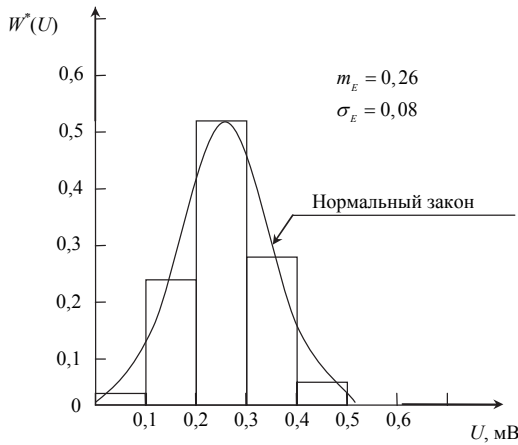


Рис. 3. Плотность шума в гидроакустическом канале вертикальной ориентации

## ВЫВОДЫ

В результате исследований получены оценки одномерной функции плотности уровня шума  $W(U)$ , оценки математического ожидания  $m_U$  и дисперсии шума  $\sigma_U^2$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Урик Р.Д. Основы гидроакустики. — Л.: Судостроение, 1978 — 448 с.
2. Митько В.Б., Евтютов А.П., Гуцин С.Е. Гидроакустические средства связи и наблюдения. — Л.: Судостроение, 1982. — 200 с.
3. Евтютов А.П., Митько В.Б. Примеры инженерных расчетов в гидроакустике. — Л.: Судостроение, 1981. — 256 с.
4. Четверкин Е.И. Гидроакустическая телеметрия в океанологии. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. — 148 с.
5. Разработка принципов и устройств передачи геофизической информации по гидроакустическому каналу связи: отчет / НЭИС им. Н.Д. Псурцева; науч. рук.: А.А. Макаров, Л.А. Чиненков. — № ГР 81019632; Инв. № 02830014986. — Новосибирск, 1982. — 76 с.
6. Матвиенко В.Н., Тарасюк Ю.Ф. Дальность действия гидроакустических средств. — Л.: Судостроение, 1981.

7. Справочник по гидроакустике / А.П. Евтютов, А.Е. Колесников, А.П. Ляликов и др. – Л.: Судостроение, 1982. – 344 с.
8. Акустика океана / под ред. Л.М. Бреховских. – М.: Наука, 1974.
9. *Чернов Л.А.* Корреляция амплитуды и фазы при распространении волн в среде со случайными неоднородностями // *Акустический журнал*. – 1955. – Т. 1, вып. 1. – С. 89–95.
10. Статистические характеристики гидроакустических каналов для АДС / В.И. Ковязин, Г.И. Криволапов, А.А. Макаров, Г.А. Чернецкий // *Морская сейсмология и сейсмометрия*. – М.: Институт океанологии АН СССР, 1989. – С. 74–80.
11. *Криволапов Г.И., Потеряева Л.А., Чернецкий Г.А.* Результаты испытания аппаратуры двусторонней гидроакустической связи для автономных донных станций // *Методика и техника сейсмоакустических и вибросейсмических исследований на акваториях: сборник научных трудов / под ред. В.И. Добринского*. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1988. – С. 10–16.
12. *Филиппов Б.И., Чернецкий Г.А.* Анализ статистических характеристик сигналов и помех в гидроакустических каналах связи // *Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*. – 2015. – № 3. – С. 78–84.
13. *Филиппов Б.И.* Алгоритм функционирования системы измерения дистанции с использованием гидроакустического канала связи // *Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*. – 2016. – № 4. – С. 87–98.
14. *Филиппов Б.И.* Энергетический расчет гидроакустических линий связи // *Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*. – 2016. – № 3. – С. 67–77.
15. *Филиппов Б.И.* Определение наклонной дальности между судном и донной станцией // *Вестник РГРТУ*. – 2016. – № 55. – С. 33–40.
16. *Filippov B.I., Chernetsky G.A.* Increase of reliability of transfer of blocks the digital information on the hydroacoustic communication channel // *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. – 2016. – Vol. 9, iss. 4. – P. 489–499.

**Филиппов Борис Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: [filippov-boris@rambler.ru](mailto:filippov-boris@rambler.ru)

**Замятина Юлия Владимировна**, студентка факультета автоматики и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. E-mail: [Zamiatina.abs323@gmail.com](mailto:Zamiatina.abs323@gmail.com)

**Interference in hydroacoustic channels with spatial heterogeneity\*****B.I. Filippov<sup>1</sup>, J.V. Zamiatina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> 630073, Russian Federation, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, Novosibirsk State Technical University, associate professor, candidate of technical science. E-mail: filippov-boris@rambler.ru

<sup>2</sup> 630073, Russian Federation, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, Novosibirsk State Technical University. E-mail: Zamiatina.abs323@gmail.com

The article discusses the features of interference in sonar channels. Sonar or interference associated with the noise of the marine environment, or noisy media sonar channel communications equipment. Under noisy environments understand the noise of the sea itself (dynamic noise), ice, biological, seismic and technical noise. Noise protection act as a natural field interference, unmanageable and determines the limit of technical feasibility of reducing the intrinsic noise of the sonar channel communications equipment. Noises sonar equipment carrier communication channel due to the radiation of acoustic energy into the water over a wide frequency band due to operation of the propeller of the machines, auxiliary machinery and the hull interaction with the oncoming flow of water. By the nature of the interaction with the interference signal is classified as additive and multiplicative. Contribution of selected sources in the total field of noise depends on several factors, such as the ship's speed, placement and cowling design and so on. A quantitative assessment of the impact of interference to the reception of sonar signals characterized by the use of correlation functions or power spectra (intensity), knowing that estimated noise perceived by receiving acoustic antenna. In terms of receiving signals multiplicative noise equivalent power increase interference. They lead to a decrease in signal / noise ratio at the receiver input. However, their characteristic is that their impact, in contrast to the additive noise, cannot be compensated by increasing transmission power. Therefore, to assess the real noise immunity of signal reception and evaluation of the capacity of hydro-acoustic communication system is necessary to know the laws of the distribution of instantaneous values of the level and phase of the signal at the receiver input. A specific kind of interference is the interference associated with the manifestation of the Doppler effect. The sonar system due Doppler effect caused by relative movement between the emitting and receiving antennas. As a result of research obtained: evaluation of a one-dimensional function of the noise density  $W(U)$ , estimate of the expectation  $m_U$  and variance of the noise  $\sigma_U^2$ .

**Keywords:** sonar channel, additive noise, multiplicative noise, Doppler effect, the signal amplitude and noise, and phase of the signal interference, signal / noise ratio, noise immunity, the expectation and variance of the noise

DOI: 10.17212/2307-6879-2016-4-83-97

---

\* Received 03 September 2016.

## REFERENCES

1. Urick R.J. *Principles of underwater sound*. New York, McGraw-Hill, 1975 (Russ. ed.: Uric R.D. *Osnovi gidroakustiki*. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1978. 448 p.).
2. Mit'ko V.B., Evtyutov A.P., Gushchin S.E. *Gidroakusticheskie sredstva svyazi i nablyudeniya* [Hydroacoustic means of communication and control]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1982. 200 p.
3. Evtyutov A.P., Mit'ko V.B. *Primery inzhenernykh raschetov v gidroakustike* [Examples of engineering calculations in hydroacoustics]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1981. 256 p.
4. Chvertkin E.I. *Gidroakusticheskaya telemetriya v okeanologii* [Hydroacoustic telemetry in oceanology]. Leningrad, LGU Publ., 1978. 148 p.
5. Makarov A.A., Chinenkov L.A., sci. dir. *Razrabotka printsipov i ustroystv peredachi geofizicheskoi informatsii po gidroakusticheskomu kanalu svyazi: otchet* [Development of the principles and devices for geophysical data transmission on hydroacoustic communication channel]. Novosibirskii elektrotekhnicheskii institut svyazi imeni N.D. Psurtseva. No. 81019632, 1982. 76 p. (In Russian, unpublished)
6. Matvienko V.N., Tarasyuk Yu.F. *Dal'nost' deistviya gidroakusticheskikh sredstv* [Range of hydroacoustic devices]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1981.
7. Evtyutov A.P., Kolesnikov A.E., Lyalikov A.P. et al. *Spravochnik po gidroakustike* [Reference on hydroacoustics]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1982. 344 p.
8. Brekhovskikh L.M., ed. *Akustika okeana* [Ocean acoustics]. Moscow, Nauka Publ., 1974.
9. Chernov L.A. Korrelyatsiya amplitudy i fazy pri rasprostraneni voln v srede so sluchainymi neodnorodnostyami [Correlation of the amplitude and phase of wave distribution in the medium with casual obstacles]. *Akusticheskii zhurnal – Acoustical Physics*, 1955, vol. 1, iss. 1, pp. 89–95. (In Russian)
10. Kovyazin V.I., Krivolapov G.I., Makarov A.A., Chernetskii G.A. Statisticheskie kharakteristiki gidroakusticheskikh kanalov dlya ADS [Statistical characteristics of hydroacoustic channels for autonomous bottom stations]. *Morskaya seismologiya i seismometriya* [Marine seismology and seismometry]. Moscow, Institut okeanologii AN SSSR Publ., 1989, pp. 74–80.
11. Krivolapov G.I., Poteryaeva L.A., Chernetskii G.A. Rezul'taty ispytaniya apparatury dvustoronnei gidroakusticheskoi svyazi dlya 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 akvatoriyakh* [The

methodology and technology, and vibroseis seismic-acoustic research on waters]. Ed. by V.I. Dobrinskii. Novosibirsk, VTs SO AN SSSR Publ., 1988, pp. 10–16.

12. Filippov B.I., Chernetskiy G.A. Analiz statisticheskikh kharakteristik signalov i pomekh v gidroakusticheskikh kanalakh svyazi [Analysis of statistical characteristics of signals and noises in hydroacoustic communication channels]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2015, no. 3, pp. 78–84.

13. Filippov B.I. Algoritm funktsionirovaniya sistemy izmereniya distantsii s ispol'zovaniem gidroakusticheskogo kanala svyazi [Algorithm of functioning of the system of distance measurement using hydroacoustic channel of communication]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2016, no. 4, pp. 87–98.

14. Filippov B.I. Energeticheskii raschet gidroakusticheskikh linii svyazi [Energy calculation of hydroacoustic communication lines]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2016, no. 3, pp. 67–77.

15. Filippov B.I. Opredelenie naklonnoi dal'nosti mezhdud sudnom i donnoi stantsiei [Determination of slant range between a ship and a bottom station]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta – Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University*, 2016, no. 55, pp. 33–40.

16. Filippov B.I., Chernetskiy G.A. Increase of reliability of transfer of blocks the digital information on the hydroacoustic communication channel. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 2016, vol. 9, iss. 4, pp. 489–499.