

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА В СИСТЕМЕ ЧЕЛОВЕК-МАШИНА

О.Д. Куприков

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: kod808@yandex.ru

Д.В. Команич

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: dkomanich@bk.ru

Ключевые слова: гидроакустическая связь, гидроакустический канал, гидроакустический интерфейс, эргатическая система, характеристики канала, межсимвольная интерференция.

Аннотация: В работе представлено описание исследованных характеристик гидроакустического канала связи, выступающего в роли интерфейса взаимодействия между элементами человеко-машинной системы. Обладая определенными сложностями в реализации, связанные с особенностями гидроакустического канала, гидроакустическая система связи явилась перспективным и актуальным средством передачи информации под водой, что подтверждается тенденциями развития рынка гидроакустической связи, а также высокой публикационной активностью в данной области. Таким образом изучение канала связи позволит правильно определять воздействующие характеристики для корректного функционирования системы беспроводной связи под водой.

1. Введение

В современном мире для исследования крупных водоемов нашей планеты часто используются подводные пилотируемые аппараты (ППА). Но вершиной научного и инженерного прогресса в области подводных исследований стали телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) и автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), а технологии в области подводных дронов постоянно совершенствуются. Несмотря на такой серьезный прогресс в океанологии, подводный мир до сих пор остается одной из самых крупных загадок человечества, что и определяет высокую степень актуальности исследований в этом направлении. При использовании подводных дронов, образуется эргатическая система, в диалоговом режиме которой дроны и иные подводные устройства выступают в роли машины, а оператор, управляющий, наблюдающий и оценивающий работу подводного устройства – в роли человека, образующие человеко-машинный интерфейс. Тенденция современного мира сводится к преимущественному применению мобильных устройств для выполнения поставленных задач, требующих наличия беспроводных сетей связи для взаимодействия. Данное требование становится справедливым и в области исследования и мониторинга водного пространства, так как применение проводных линий связи зачастую становится фактором, осложняющим выполнение задач, в связи с

уменьшением мобильности машин. Таким образом применение беспроводных технологий передачи данных является необходимым и в подводной среде. Гидроакустический канал связи, обеспечивающий беспроводную связь в водной среде между элементами системы, является одним из наиболее перспективных средств подводной связи, которая сможет заменить проводной интерфейс, обладающий рядом недостатков при относительной простоте в установке, настройке и эксплуатации. Пример эргатической системы с применением гидроакустического интерфейса связи представлен на рис. 1.

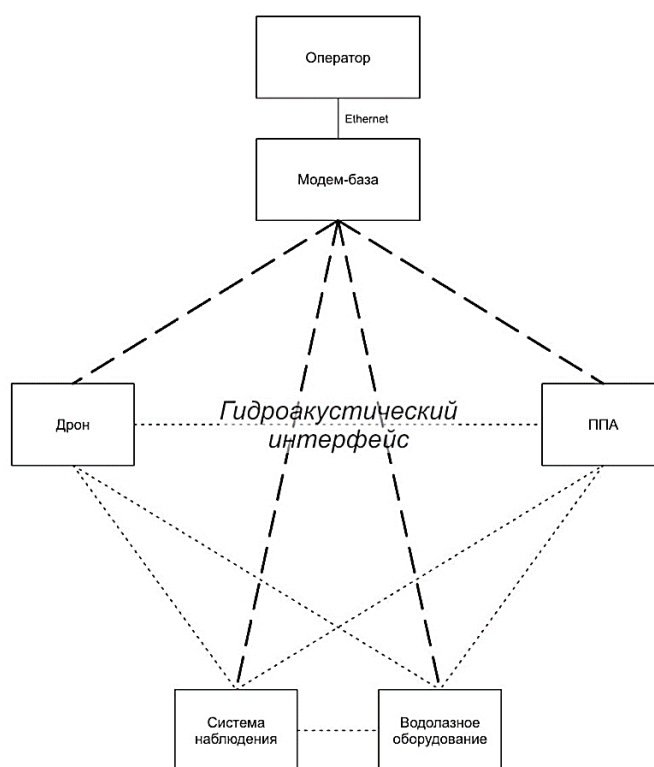


Рис. 1. Гидроакустическая связь эргатической системы.

2. Актуальность применения средств гидроакустической связи

Решение проблем по организации исследования и защиты водного пространства, а также по обеспечению быстрой передачи информации различных типов данных под водой определяет тенденции развития технических средств подводной беспроводной связи.

Современные средства гидроакустической связи предназначены для выполнения ряда важных задач, таких как навигация, поиск, обнаружение и определение координат подводных целей, параметров работающих гидроакустических средств и их классификации, обеспечение связи с подводными объектами и передачи информации.

Применение гидроакустической связи позволяет развивать различные сферы деятельности человека. Так, подводные аппараты и судна, снабженные средствами гидроакустической передачи информации, помогают безопасно исследовать водное пространство в условиях плохой видимости. Данные исследования осуществляются различными государственными и коммерческими организациями с целью изучения и защиты водной флоры и фауны, добычи полезных ископаемых, проведения поисково-

спасательных операций, а также организации метрологии и экологического мониторинга подводного пространства. Еще одна важная сфера применения – обеспечение защиты государственной морской границы. Средства гидроакустической связи применяются с целью обнаружения, опознавания и противодействия средствам противника.

Разработчики средств гидроакустической связи стараются добиться увеличения скорости передачи информации, рабочих диапазонов частот и глубины подводного взаимодействия. Еще одним необходимым фактором является уменьшение стоимости разработки подобных средств для увеличения рынка распространения технологий, применяющих средства гидроакустической связи [1].

В условиях сложившейся мировой обстановки у российских исследователей и разработчиков сократился список доступных зарубежных решений по направлению гидроакустики, что определяет необходимость в создании отечественных многофункциональных средств гидроакустической связи.

Лидером на российском рынке гидроакустической связи является акционерное общество «Концерн «Океанприбор. Технологии, разрабатываемые на предприятии, широко применяются как в народном хозяйстве, так и в целях обеспечения Военно-морского флота многофункциональными комплексами и средствами связи, поиска и пеленгования.

Также стоит отметить продукцию отечественных компаний «Аквателеком» и «Лаборатория подводной связи и навигации», занимающихся разработкой систем подводной связи и навигации, в список которых входят гидроакустические модемы, обладающие конкурентоспособными техническими характеристиками.

3. Характеристики гидроакустического канала связи

Необходимым условием для получения положительных результатов в проектировании и разработке средств и систем гидроакустической связи, выступающих в роли связующего звена внутри человеко-машинной системы, является изучение свойств канала акустической связи в условиях водной среды в оптимальном для эксплуатации системы в открытых водоемах диапазоне частот от 20 до 100 кГц [2].

Основным параметром любой системы связи является максимально возможная скорость передачи информации, которая в первую очередь зависит от характеристик передачи канала. К таким характеристикам в первую очередь относится скорость распространения акустической волны, которая определяется отношением плотности вещества к способности этого вещества уменьшать свой объем при воздействии всестороннего давления от акустической волны по формуле:

$$V = \sqrt{\frac{K}{\rho}},$$

где K – модуль всестороннего сжатия, ρ – плотность вещества, в котором происходит распространение волны.

В идеальных условиях скорость распространения гидроакустической волны равняется 1500 м/с.

Относительно низкая, по меркам современных систем воздушной беспроводной передачи, скорость распространения волны явилась следствием высокой задержки приема прямой волны, которая описана формулой:

$$T = \frac{S}{V},$$

где S – расстояние передачи, V – скорость передачи.

Не менее важным является такой физический параметр волны, как затухание. В рассматриваемых условиях применения системы, а именно: средняя температура 10 °С, химический состав морской воды и глубина погружения до 5км [3], наиболее предпочтительно применение уравнения Франсуа-Гаррисона, которое в полной мере учитывает все физические и химические параметры среды в формуле:

$$a(f) = \frac{A_1 P_1 f_1 f^2}{f_1^2 f^2} + \frac{A_2 P_2 f^2}{f_2^2 f^2} + A_3 P_3 f,$$

где A – водородный показатель, P – табличный показатель по глубине оборудования, f – частота передачи, f_1, f_2 – табличные значения частот релаксации.

Последним параметром, описывающим физическую передачу волны в канале, является межсимвольная интерференция. Акустическая волна распространяется многолучевым способом- прямая волна от передатчика до приемника и множество волн, распространяющихся по различным траекториям вследствие многократного их отражения от дна, поверхности и подводных объектов. На рис. 2 представлено многолучевое распространение акустического сигнала в водной среде.

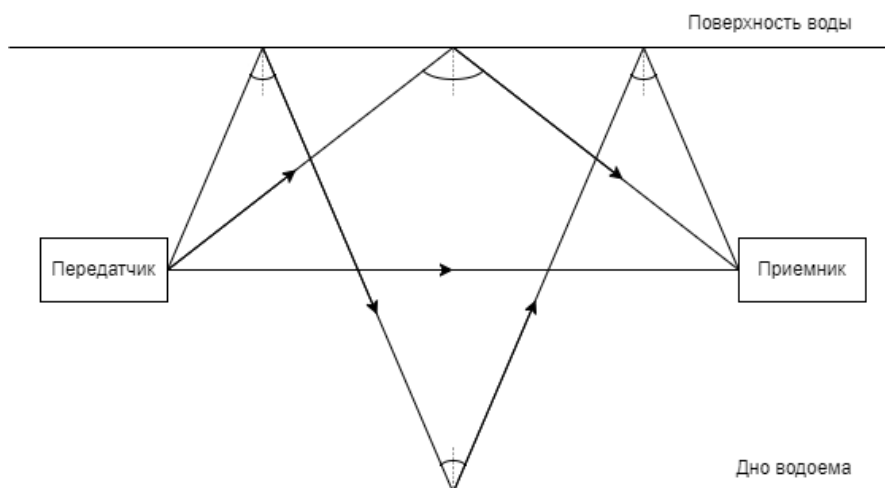


Рис. 2. Многолучевое распространение акустической волны.

Вследствие многолучевости один сигнал, распространяется на множестве волн, которые поступают на приемник в разные моменты времени, что приводит к случайному искажению последовательности при наложении множества волн с разной величиной задержки во времени, как показано на рис. 3.

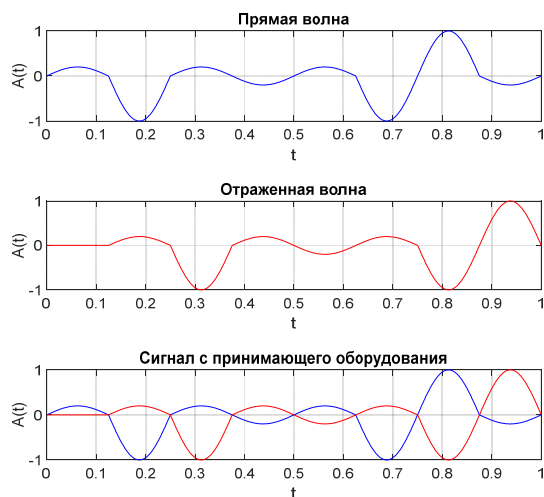


Рис. 3. Межсимвольная интерференция вследствие многолучевого распространения акустических волн.

4. Заключение

В рамках проделанной работы был рассмотрен гидроакустический канал, выступающий в роли человеко-машинного интерфейса, обеспечивая связь между подводными устройствами и оператором с применением беспроводных технологий. Развитие гидроакустики и рынка гидроакустических устройств является довольно продолжительным процессом, но проблема высокоскоростной доступной гидроакустической связи остается актуальной проблемой и в настоящее время. В работе представлены основные характеристики акустического канала связи в водной среде, которые задают основные ограничивающие параметры для системы передачи по данному каналу связи, что необходимо для понимания процессов, протекающих в условиях изменяющейся среды, и создания эффективной системы беспроводной подводной связи для функционирования в рамках эргатической системы человек-машина.

Список литературы

1. Кабанов А.А., Малов А.В. Перспективы развития рынка гидроакустических модемов в Российской Федерации // *Управленческий учет*. 2023. № 5. С. 48-57.
2. Куприков О.Д., Команич Д.В. Исследование и имитационное моделирование характеристик гидроакустического канала связи // *Труды 18-ой Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (УБС'2022, Челябинск)*. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. 2022. С. 91-98.
3. Farhadov M.P., Kuprikov O.D., Komanich D.V. Hydroacoustic signal characteristics researching for an underwater communication channel development // *Proceedings of 2022 6th International Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT)*. Astrakhan, Russia, 2022. P. 1-7.
4. Митус К.Н., Гармашова Е.П. Анализ рынка подводной робототехники России // *Вопросы инновационной экономики*. 2023. Т. 13, № 1. С. 233-254.
5. Кудрявцев В. И. Гидроакустика рыбохозяйственная. М.: Изд-во ВНИРО, 2018. 460 с.
6. Душин С.В., Фархадов М.П., Шаврин С.С., Алешин В.С. Тенденции и перспективы развития беспроводной подводной связи // *DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов*. 2020. № 2. С. 11-18.
7. Душин С.В., Алешин В.С., Шаврин С.С., Фархадов М.П., Куров И.Ю. Использование среднего частотного диапазона акустических волн для передачи информации в поверхностных водах // *Вестник Томского государственного университета*. 2021. № 54. С. 38-47.