

УДК 621.396.933.21

**И.А. Кириченко, И.Б. Старченко****АДАПТИВНЫЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА:  
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ\***

*В реальных условиях становится необходимым построение оптимальных адаптивных гидроакустических средств, обеспечивающих минимальную погрешность при наличии переменных во времени влияющих воздействий. В работе рассматриваются вопросы современного состояния адаптивных гидроакустических средств и перспективы развития, основные направления экспериментальных исследований моделей адаптивных гидроакустических средств, взаимодействие элементов в адаптивной гидроакустической системе. Рассмотрена схема задачи построения адаптивных гидроакустических средств повышенной эффективности. Определены основные направления экспериментальных исследований моделей адаптивных гидроакустических средств.*

*Адаптивность; гидроакустическая система; структура.*

**I.A. Kirichenko, I.B. Starchenko****ADAPTIVE ACOUSTICAL MEANS: STATE AND PROSPECTS**

*In reality, it becomes necessary to construct optimal adaptive sonar equipment to ensure minimum error in the presence of time-varying effects affecting. The paper discusses the current state of adaptive sonar equipment and development prospects, the main lines of experimental research models of adaptive sonar equipment, the interaction of the elements in the adaptive sonar system. A scheme for the problem of adaptive acoustical means increased efficiency. The basic directions of experimental studies of adaptive models of sonar equipment.*

*Adaptability; sonar system; structure.*

Создание адаптивных гидроакустических средств повышенной эффективности является одной из важных проблем, решение которой определяет уровень развития современных акустических исследований. Одним из наиболее важных элементов акустических систем дистанционного зондирования является акустическая антенная система. Ее технические, конструктивные и технологические параметры и характеристики во многом определяют эффективность применения самих адаптивных гидроакустических средств. В настоящее время для дистанционного зондирования шельфа океана, наряду с эхолотовыми системами и системами бокового обзора [1], широкое применение находят гидроакустические средства с параметрическими антеннами (ПА). Перспективным направлением использования адаптивных гидроакустических средств с ПА является их применение для гидрофизических исследований и обнаружения подводных объектов в условиях мелкого моря и шельфа океана. Основными особенностями работы гидроакустических систем в таких условиях являются:

- ◆ высокое затухание акустических волн в мелком море, что связано как со сложной лучевой картиной при распространении сигналов, так и с высокой концентрацией газовых пузырьков в приповерхностном слое моря;
- ◆ изменение распределения скорости звука в приповерхностном слое воды;
- ◆ гидродинамические течения, обусловленные как движением водных масс, так и движением судна-носителя акустической системы;
- ◆ высокий уровень реверберационных помех;
- ◆ высокий уровень шумов моря.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (ГК №14.518.11.7068 и соглашение № 14.А18.21.1284).

Перечисленные факторы снижают эффективность применения гидроакустических систем с ПА, ограничивают дальность обнаружения подводных объектов в условиях мелкого моря, что определяет необходимость проведения теоретических и экспериментальных исследований при решении задачи создания адаптивных гидроакустических средств (АГАС) повышенной эффективности. Задачу построения адаптивных гидроакустических средств повышенной эффективности можно обобщить в виде трех взаимосвязанных направлений (теоретические модели, проектирование и эксплуатация) [2], представленных на рис. 1.

В реальных условиях при заданных ограничениях становится необходимым построение оптимальных АГАС, обеспечивающих минимальную погрешность при наличии переменных во времени влияющих воздействий [3]. Критерий оптимальности характеризует цель, которую должна достичь синтезируемая АГАС по своим определяющим показателям качества при заданных ограничениях. Критерий должен по возможности полно и точно характеризовать качество системы. Выбирая критерий, приходится решать задачу на оптимум, учитывая два противоречивых фактора: сложность критерия, полноту и точность отображения критерием назначения системы. Чем полнее и точнее критерий отображает систему, тем он сложнее. Особое значение условия адаптивности системы представляют для измерительных систем с параметрической излучающей антенной.

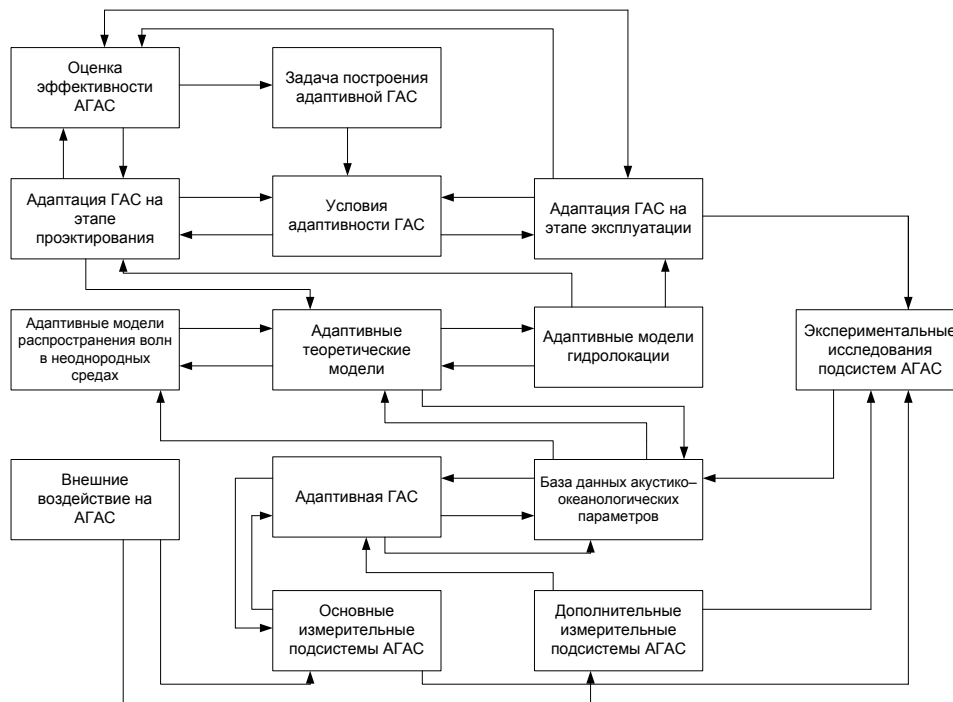


Рис. 1. Обобщенная схема задачи построения адаптивных гидроакустических средств повышенной эффективности

В общем случае теория ПА описывается волновым уравнением с правой частью, определяемой первичным полем и описывающей распределение виртуальных источников вторичного поля [4]. Многие физические системы характеризуются присутствием широкого диапазона пространственных и временных масштабов. Особый интерес вызывают задачи с ограниченными структурами или резкими пе-

реходами, которые могут происходить периодически в вычислительной области или менять свое местоположение и масштабы в пространстве и времени. Примером таких задач в акустике могут служить краевые задачи дифракции и рассеяния, волновые уравнения с различными граничными условиями, уравнения нелинейной акустики: Бюргерса, Хохлова–Заболотской–Кузнецова и др. [5, 6]. Уравнение Бюргерса используется в гидродинамике и является частным случаем уравнения Навье–Стокса. Уравнение Бюргерса является подходящей моделью для проверки работы вычислительных алгоритмов для описания таких течений, где предвидятся либо очень большие градиенты, либо ударные волны. Роль этого уравнения как средства для проверки действия вычислительных алгоритмов облегчается за счет применения преобразования Хопфа–Коула, позволяющего строить точные решения уравнения Бюргерса для многих комбинаций начальных и граничных условий.

Для оценки нелинейных эффектов, возникающих в среде при распространении акустических волн, необходимо учитывать нелинейные члены в системе гидродинамических уравнений. Хорошее совпадение с экспериментом достигается при учете квадратичных по нелинейности членов. Основные соотношения для расчета полей излучения при нелинейном взаимодействии акустических волн могут быть найдены на основе решения системы уравнений гидродинамики вязкой жидкости. Достаточно полный анализ работ, посвященных теоретическому решению вопросов нелинейной акустики, дан О.В. Руденко и С.И. Солюяном [7]. Использование уравнения Хохлова–Заболотской–Кузнецова (ХЗК) позволяет описывать динамику формирования акустического поля разностной частоты с учетом всех факторов, влияющих на работу ПА. Создание ПА требует рассмотрения отличий реальных характеристик параметрических антенн от идеальных характеристик, рассчитанных по принятой модели. Эти отличия возникают в результате изменения среды, в которой происходит взаимодействие сигналов накачки. Анализ решения модели показал, что только изменения скорости звука, плотности среды и затухания в среде могут влиять на процесс нелинейного взаимодействия и, следовательно, на характеристики ПА, поскольку эти параметры входят не только в постоянный множитель, но и в величины, входящие в подынтегральное выражение.

Численное решение таких задач на однородных сетках непрактично, так как вычисления с высоким разрешением требуются только в областях, где происходят резкие переходы. Для решения этих задач эффективным способом в вычислительном отношении вычислительная сетка должна приспособиться динамически во времени, чтобы отразить локальные изменения в решении. Существуют несколько адаптивных методов формирования сетки, здесь предлагается использовать вейвлет-методы. Вейвлет-методы используют тот факт, что функции с ограниченными областями резких переходов хорошо сжимаются, используя вейвлет-разложение [8].

Адекватность теоретических моделей должна быть подтверждена экспериментальными исследованиями. Систематизация направлений и задач экспериментальных исследований моделей АГАС с ПА и влияния гидрофизических неоднородностей на процесс нелинейного взаимодействия представлена на рис. 2. С целью выявления основных факторов АГАС и морской среды, которые необходимо определять и учитывать в процессе моделирования адаптивных гидроакустических средств повышенной эффективности и при обработке экспериментальных данных, проведен анализ функционального взаимодействия элементов в АГАС между собой и с окружающей морской средой [3]. Обобщенная схема взаимодействия элементов в АГАС представлена на рис. 3.

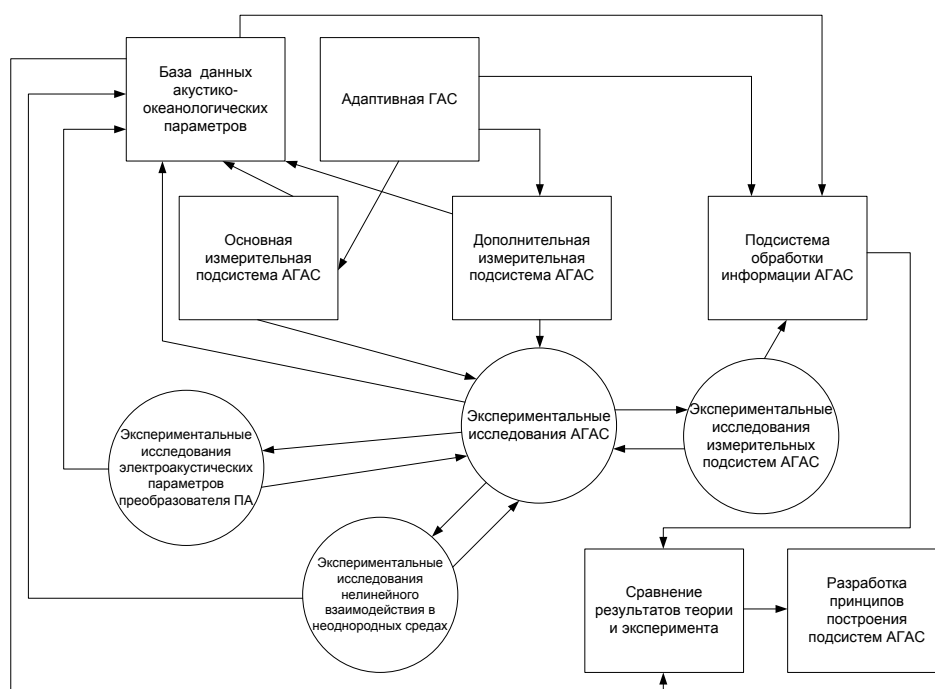


Рис. 2. Основные направления экспериментальных исследований моделей адаптивных гидроакустических средств

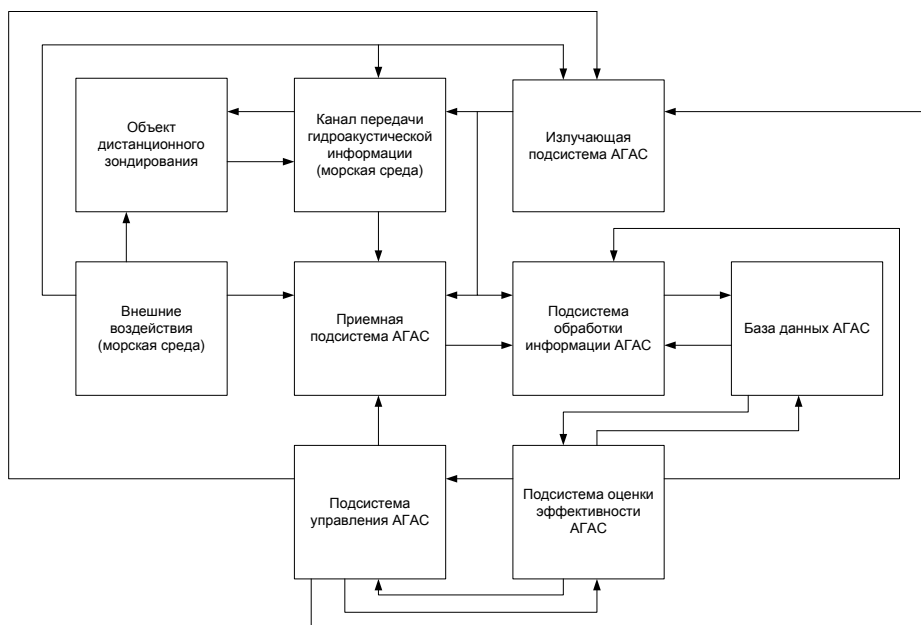


Рис. 3. Обобщенная схема взаимодействия элементов в адаптивной гидроакустической системе

Обобщенная схема взаимодействия элементов АГАС позволяет выделить наиболее важные параметры системы (излучающая подсистема АГАС, приемная подсистема АГАС, подсистемы обработки информации и управления АГАС) и характеристики морской среды (внешние воздействия и канал передачи гидроакустической информации), которые необходимо учитывать при построении теоретических моделей АГАС и обработке данных экспериментальных исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саломатин А.С., Шевцов В.П., Юсупов В.И. Океанологические исследования с помощью эхолотов. Опыт двадцатилетнего использования // Доклады IX научной школы–семинара акад. Л.М. Бреховских «Акустика океана», совмещенной с XII сессией Российского акустического общества. – М.: ГЕОС, 2002. – С. 250-253.
2. Кириченко И.А., Раскина М.А. Задача синтеза адаптивных акустических систем // Нелинейная гидроакустика. Труды конференции. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2006. – С. 40-46.
3. Ольшевский В.В. Статистические методы в гидролокации. – Л.: Судостроение, 1973. – 184 с.
4. Кириченко, И.А., Старченко И.Б. Метод декомпозиции в построении адаптивных гидроакустических систем // Электронный научно-инновационный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2012. – № 4 <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2012/1139/>.
5. Наугольных К.А. Нелинейная акустика: от физических исследований к практическим применениям // Акустический журнал. – 2009. – Т. 55, № 3. – С. 335-341.
6. Островский Д.Б., Железный В.Б. Сопоставление моделей параметрических излучающих антенн // Сб. трудов XVIII сессии Российского акустического общества. – М.: ГЕОС, 2006. – Т. 1. – С. 101-104.
7. Руденко О.В., Солуян С.И., Хохлов Р.В. Проблемы теории нелинейной акустики // Акуст. журн. – 1974. – Т. 20, № 3. – С. 449-457.
8. Старченко И.Б., Тимошенко В.И. Решение уравнений нелинейной акустики во временной области методом адаптивных сеток с использованием лифтинговых вейвлетов // Известия ТРТУ. – 2006. – № 12 (67). – С. 76-180.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор Г.В. Куповых.

**Кириченко Игорь Алексеевич** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: [ikirichenko@sfedu.ru](mailto:ikirichenko@sfedu.ru); 347928, ГСП 17А, пер. Некрасовский, 44, корп. «Е»; тел.: 88643371795; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; доцент.

**Старченко Ирина Борисовна** – ОКБ «Ритм» Южного федерального университета; e-mail: [star@sfedu.ru](mailto:star@sfedu.ru); 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 99; тел.: 88634311933; директор; д.т.н.; профессор.

**Kirichenko Igor Alekseevich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: [ikirichenko@sfedu.ru](mailto:ikirichenko@sfedu.ru); 44, Nekrasovsky, building E, Taganrog, GSP 17A, 347928, Russia; phone: +78643371795; the department of hydroacoustics and medical engineering; associate professor.

**Starchenko Irina Borisovna** – Special Design Office “Ritm” – Southern Federal University; e-mail: [star@sfedu.ru](mailto:star@sfedu.ru); 99, Petrovskaya street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634311933; director; dr. of eng. sc.; professor.