

УДК 629.58

ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

В.В. Прокопович

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Россия, 197046, Санкт-Петербург, ул. М. Посадская, 30

А.В. Шафранюк

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Россия, 197046, Санкт-Петербург, ул. М. Посадская, 30

Ключевые слова: радиоэлектронные комплексы подводных лодок, стенд моделирования, программный имитатор.

Аннотация: В статье излагается опыт моделирования сложных радиоэлектронных комплексов подводных лодок, обеспечивающих их разработку, отработку, испытания, эксплуатацию и модернизацию. В качестве примера рассматривается моделирование гидроакустического комплекса подводной лодки.

1. Введение

Современные радиоэлектронные комплексы подводных лодок (ПЛ), создаваемые АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», являются сложными аппаратно-программными системами, сложность которых с течением времени неуклонно возрастает. Причём усложнение идёт, главным образом, за счёт совершенствования программного обеспечения (ПО), объём которого в отдельных комплексах достигает несколько миллионов строк на алгоритмическом языке высокого уровня и для своей разработки требует усилий большого коллектива алгоритмистов и программистов. Комплексы, как правило, являются многорежимными, при этом все режимы, как правило, должны быть совместными, т.е. должно быть предусмотрено их одновременное функционирование.

Перечисленные факторы обуславливают трудности в разработке ПО и, особенно, в его комплексной отладке. К этим трудностям добавляется появившаяся в последние десятилетия тенденция к сокращению продолжительности морской отработки и испытаний комплексов в реальных условиях функционирования. Ввиду этого, если не принять специальных мер, комплексы будут сдаваться заказчикам в недоработанном виде, что в полный рост проявится в процессе их эксплуатации и приведёт к появлению рекламаций и необходимости за счёт предприятия устранять выявленные недоработки. Но и в этом случае придётся столкнуться с проблемой установления причин некорректной работы комплексов, поскольку определить их по внешним проявлениям, зафиксированным личным составом ПЛ, зачастую не представляется возможным.

Наиболее эффективным выходом из описанной ситуации является перенос львиной доли отработки и испытаний комплексов на стенд предприятия-разработчика.

В АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» необходимость в такой стратегии создания радиоэлектронных комплексов была осознана и принята к реализации в начале текущего века. В основе этой стратегии лежит всестороннее моделирование

создаваемых комплексов в различных условиях их функционирования с упором на критические [1, 2].

Целью статьи является изложение опыта моделирования сложных радиоэлектронных комплексов на примере гидроакустического комплекса (ГАК) подводной лодки. Выбор в качестве примера ГАК обусловлен тем, что из всех радиоэлектронных комплексов ПЛ, разрабатываемых концерном, он характеризуется наибольшим объёмом ПО.

2. Назначение стенда моделирования ГАК

Для отработки ГАК на предприятии в инициативном порядке создан стенд моделирования или в современной терминологии цифровой полигон. Укрупнённая структурная схема стенда моделирования приведена на рис.1. Стенд состоит из двух частей:

- приборов ГАК, размещаемых в прочном корпусе;
- программного имитатора (ПИ), генерирующего сигналы, поступающие с выхода приёмных гидроакустических антенн, а также других систем ПЛ, взаимодействующих с ГАК.

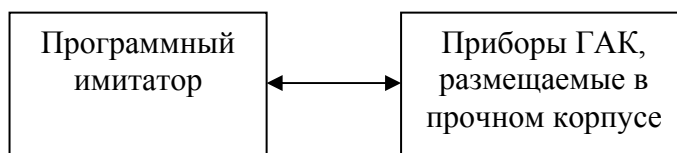


Рис. 1. Укрупнённая структурная схема стенда моделирования

Стенд моделирования ГАК начинает формироваться на этапе эскизного проектирования. Сначала в качестве приборов ГАК, размещаемых в прочном корпусе, используются их программные модели, реализуемые на макетах вычислительных средств ГАК. По мере разработки ГАК программные модели заменяются штатным программным обеспечением, а макеты вычислительных средств – штатными приборами. В результате к началу проведения стендовых испытаний ГАК на стенде стоят штатные приборы со штатным ПО. Наличие программного имитатора позволяет в ходе стендовых испытаний ГАК полноценно проверить выполнение большинства требований технического задания в условиях, максимально приближенных к реальным.

Стенд моделирования осуществляет поддержку ГАК на всех этапах его жизненного цикла. Он обеспечивает:

- на этапах эскизного и технического проектирования – проверку эффективности закладываемых в проект технических решений;
- на этапе изготовления ГАК – разработку и отработку штатного ПО;
- на этапе стендовых испытаний ГАК – подтверждение выполнения требований технического задания в предписанных условиях;
- на этапе морских испытаний ГАК – приведение результатов испытаний к условиям технического задания;
- на этапе эксплуатации ГАК – выяснение причин выявленной на практике некорректной работы программного обеспечения;
- на этапе модернизации ГАК – оценку эффективности предлагаемых новых технических решений.

Также стенд моделирования является основой для создания тренажёра для подготовки операторов ГАК.

3. Структура стенда моделирования ГАК

Для обеспечения эффективного обнаружения целей различных классов в различных гидроакустических и помехо-сигнальных условиях обработка информации в современных ГАК ПЛ осуществляется одновременно во всех их режимах работы. На рис. 2 приведена алгоритмическая структура обработки сигналов, поступающих с выхода одной приёмной антенны ГАК ПЛ в одном из режимов его работы.

Многоканальный поток цифровых сигналов, поступающий с выхода приёмной антенны, проходит 6 этапов обработки. Сначала сигналы с частотой их дискретизации по времени поступают на вход алгоритмов адаптивной пространственно-частотно-временной обработки (АПЧВО). Их результатом являются пространственно-частотные спектры принимаемых сигналов, вычисленные в рабочем диапазоне частот (РДЧ) в секторе обзора антенны с заданными шагами по частоте, курсовому углу и углу места. Адаптация осуществляется к помехо-сигнальной обстановке, а точнее к пространственному распределению шумов моря и локальных помех. Для адаптации используются сложные матричные алгоритмы, разработка которых представляет самостоятельную задачу. С появлением в 80-х годах прошлого века цифровых ГАК ПЛ адаптация к гидроакустическим условиям, состоящая в выборе оператором оптимальных для решаемой задачи и текущих условий частотного диапазона, угла наклона характеристики направленности антенны и времени накопления сигнала, была заменена на параллельную обработку сигналов во всех пространственных, частотных и временных каналах.

Из полученных в результате АПЧВО пространственно-частотных спектров формируются так называемые пеленгационные рельефы, представляющие собой распределение по курсовым углам энергии сигналов, пришедших с одного вертикального направления в нескольких (как правило, трёх) широких частотных диапазонах.

Результаты АПЧВО циклически, с периодом формирования пеленгационных рельефов (единицы секунд), поступают на вход первичной обработки, которая состоит в обнаружении в каждом пеленгационном рельефе локальных энергетических превышений среднего (фонового) уровня рельефа, называемых элементарными сигналами (ЭС). Одновременно с обнаружением ЭС осуществляется измерение их статических (т.е. измеренных в одном пеленгационном рельефе) параметров. К этим параметрам относятся: курсовой угол (КУ), соответствующий максимуму ЭС, угловая (акустическая) протяженность, индикаторное отношение сигнал/помеха (ОСП), абсолютный уровень, приведенный к входу антенны.



Рис. 2. Алгоритмическая структура обработки сигналов с выхода одной приёмной антенны ГАК ПЛ в одном из режимов работы.

Поток обнаруженных ЭС с их статическими параметрами передаётся на вход траекторного анализа, результатом которого является построение траекторий ЭС с одновременным сглаживанием их статических параметров и оценкой их динамических параметров (т.е. скоростей изменения статических параметров) во времени. Из всех построенных траекторий выделяются статистически устойчивые. Их сглаженные статические и динамические параметры передаются на вход комплексной обработки, осуществляющей их идентификацию с траекториями, наблюдаемыми на выходе других антенн и других режимов ГАК. При положительных результатах идентификации параметры идентичных траекторий объединяются.

После этапа комплексирования массив сопровождаемых комплексных траекторий с их параметрами поступает на вход алгоритмов обнаружения, классификации и определения координат и параметров движения целей.

Более подробно алгоритмы обнаружения, классификации и определения координат и параметров движения целей описаны в [3].

Результаты каждого этапа обработки преимущественно в графическом виде отображаются оператору.

Из рассмотрения алгоритмической структуры обработки информации в ГАК ПЛ вытекают следующие требования к ПИ, обеспечивающему разработку и отработку алгоритмов и ПО:

1) ПИ должен обеспечивать адекватное моделирование тактических эпизодов, гидроакустических условий, шумоизлучения и звукоотражения всех заданных классов целей, шумовых и реверберационных помех, излучающих и приёмных трактов ГАК.

2) Для обеспечения отработки совместного функционирования всех режимов работы ГАК ПИ должен быть способен одновременно генерировать данные в реальном масштабе времени на выходе всех приёмных антенн в рамках единого тактического эпизода.

3) Учитывая, что алгоритмы и ПО, реализуемые на разных этапах обработки (рис. 2), разрабатываются специалистами разной компетенции, для обеспечения их параллельной работы ПИ должен генерировать входные данные одновременно для каждого этапа обработки. Для этого в ПИ, наряду с алгоритмами генерации данных на выходе приёмных антенн ГАК, для каждого этапа обработки, начиная со второго, должны быть программно реализованы алгоритмические модели, заменяющие собой штатные алгоритмы, реализуемые на всех предыдущих этапах.

4) ПИ также должен моделировать данные, поступающие от систем, обеспечивающих работу ГАК. К таким системам относятся навигационный комплекс и системы единого времени.

4. Заключение

Моделирование сложных радиоэлектронных комплексов – наиболее эффективный путь обеспечения их качественной разработки, испытаний и поддержки в процессе эксплуатации.

В работе изложен опыт АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» по созданию стендов моделирования сложных радиоэлектронных комплексов подводных лодок. В качестве примера рассмотрен гидроакустический комплекс.

Список литературы

1. Шафранюк А.В., Прокопович В.В. Построение стенда моделирования гидроакустических систем, // В сборнике трудов конференции ИММОД-2021. Санкт-Петербург, 2021. С. 357-362.
2. Быкова В.С., Мартынова Л.А., Машошин А.И., Пашкевич И.В., Диспетчер мультиагентной системы управления автономного необитаемого подводного аппарата: структура, алгоритмы, результаты моделирования // Гироскопия и навигация. 2020. Т. 28, № 3 (110). С. 109-121.
3. Брага Ю.А., Машошин А.И., Подшивалов Г.А. Алгоритм информационной поддержки оператора гидроакустического комплекса подводной лодки // Морская радиоэлектроника. 2018. № 3 (65). С. 8-12.