

Андрей Иванов, UB1ABV
г. Санкт-Петербург
<http://www.brigantina-rpu.ru>

Немногим известно, что в нашей стране на заре перестройки силами омского научно-исследовательского института приборостроения (ОНИИП) создавался «приёмник будущего». Эти труды не пропали зря и дошли до наших дней в качестве радиоприёмного устройства 4-го поколения «Бригантина» и его многочисленных модификаций, таких как «Артек-Гелиос», «Ольхон-Гелиос» и многих других, использующихся по сей день в гражданском и военном флотах, в сухопутных войсках и на стационарных узлах связи. Создание же новых современных РПУ по принципу «Бригантины» продолжается до сих пор.

Автоматизированное радиоприёмное устройство «Бригантина»

В конце 70-х годов прошлого века стало весьма заметным отставание отечественной аппаратуры от зарубежной по массогабаритным параметрам, потребляемой мощности, надёжности, а, главное, по возможностям и качеству радиоприёма.

В то время как на советских заводах только заканчивалось внедрение приёмников и возбuditелей 3-го поколения, за рубежом, в связи с широким использованием микропроцессоров, уже появились радиоприёмники 4-го поколения, имеющие элементную базу с большей степенью интеграции и в 3-4 раза превосходящие по параметрам отечественные изделия.

В 1986 году Министерство судостроительной промышленности выделило средства Омскому научно-исследовательскому институту приборостроения на создание радиоприёмника 4-го поколения, который планировалось использовать на гражданских и промысловых судах, а также морских узлах связи. Минсудпром заказал ОКР раньше военных заказчиков (что явилось весьма редким для того времени случаем) и, соответственно, раньше получил новый приёмник 4-го поколения. По многим своим параметрам радиоприёмник мог послужить примером для зарубежных РПУ, таким как реальная избирательность, температурный диапазон эксплуатации и т.д.

Как представитель «потребителя», согласованием технического



Фото 1

задания и приёмкой всех этапов работы при создании РПУ занималось Министерство морского флота. Эти два министерства – Минсудпром и Минморфлот – представляли ленинградские КБ «Связьморпроект» и ЦНИИМФ.

До этого времени морские суда оснащались приёмниками «Циклоида» и «Сибирь» (модификации приёмника 3-го поколения Р-160). Они также разрабатывались в ОНИИП и выпускались ОПЗ им. Козицкого и Свердловским радио заводом.

ОНИИП, в то время называвшийся Омский НИИ средств связи, учрежден в 1958 г. на базе Омского специального конструкторского бюро завода им. Козицкого, эвакуированного из Ленинграда в начале Великой Отечественной войны. НИИ создавался с целью исследования и развития магистральной радиоприёмной техники. 28 августа 1970 г. приказом Министерства был организован опытный завод

для изготовления мелкосерийных и единичных изделий, разработанных в КБ института.

В 1981 году для преодоления всё увеличивающегося отставания от зарубежных аналогов по массогабаритным параметрам и другим важным эксплуатационным характеристикам коротковолновых РПУ в ОНИИП по инициативе главного инженера Н.А. Сартасова был создан специальный сектор. Начальником сектора, а впоследствии и главным конструктором ОКР, был назначен Валерий Левченко, молодой кандидат технических наук, которому было разрешено сформировать коллектив путем перевода разработчиков из других подразделений института.

Основной вклад в решение принципиальных проблем построения главного тракта приёма и микропроцессорной системы управления внесли Г. Хазан, В. Татаренков, Г. Шаталова и другие талантливые

инженеры. Заместителем главного конструктора ОКР по конструктивной части была А. Ершова, которая провела большую работу по отработке и поиску оптимальных конструктивно-технологических решений изделия и всех его составных частей.

Проектирование “Бригантины” полностью проходило в ОНИИП, включая подготовку научного задела, полный цикл ОКР, изготовление макетов и опытных образцов. В серию приёмник был передан на Омский приборостроительный завод им. А.Г. Козицкого.

На этапе создания научно-технического задела для нового РПУ лабораторией В. Левченко были изучены десятки передовых зарубежных радиоприёмников, принадлежащих таким фирмам как RFT (ГДР), Rohde & Schwarz (ФРГ), Collins (США), Racal (Великобритания), SRT (Швеция), а также многие японские радиолюбительские приёмники в части эргономики. Была поставлена задача проанализировать все положительные и отрицательные стороны радиоприёмников этих производителей и, с учетом этого анализа, создать улучшенный отечественный вариант. Именно поэтому “Бригантина” не является копией ни одного из лучших зарубежных приёмников того времени (**фото 1**).

На тот момент ОНИИП владел разработками всей специфической элементной базы, которая определила технический уровень приёмника, включая высокостабильный кварцевый генератор и все виды фильтров: электромеханические, кварцевые, фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ), ВЧ разъёмы, микросборки и некоторые микросхемы (совместно с КБ при Новосибирском заводе полупроводников).

Как и многие в то время крупные предприятия оборонно-промышленного комплекса, ОНИИП имел практически полный набор необходимых производственных технологий и почти 30-летний научный и инженерный опыт разработки радиоприёмных устройств и их

блоков, мог работать в замкнутом цикле, не привлекая к созданию РПУ другие институты и производства, за исключением поставщиков материалов и электронной компонентной базы широкого применения. Научно-технические заделы и идеи зрели за 3-5 лет до официального старта разработки. Они и позволили в течение трёх лет совершить принципиально новый скачок в конструировании радиоприёмников 4-го поколения. В процессе создания радиоприёмника было запатентовано порядка двух десятков изобретений на устройство или способ, а также получено свидетельство на промышленный образец. Так “Бригантина” оказалась первым отечественным профессиональным микропроцессорным приёмником высшего класса. Кроме того, в нём было использовано около 20 типов специализированных микросборок, благодаря которым удалось уменьшить габариты и массу приёмника по сравнению с его аналогом “Циклоидой” в 4 раза!

Параллельно развивалась унификация разработок, которая позволяла использовать одни и те же базовые конструктивные и принципиальные решения (конструкция корпуса, блоков, индикация и т.д.) в последующей аппаратуре различного назначения.

Немалый вклад в создание РПУ произвело внедрение в институт современных ЭВМ. На них производилось моделирование радиоканалов с замираниями и многолучевостью, а также исследовалось поведение различных вариантов

реализации приёмника в этих условиях.

Это, в свою очередь, позволило изучить эффективность различных алгоритмов управления дискретными аттенюаторами в сечениях приёмного тракта, алгоритмов сложения и автовыбора РПУ при разнесенном приёме с последующей оптимизацией схемы.

Именно поэтому, казалось бы, при не очень значительном превосходстве общепринятых характеристик приёмники нового поколения в реальных условиях эксплуатации (при многолучевости и сложной помеховой обстановке) показывали поразительные результаты.

В то время началось широкое использование ЭВМ при проектировании печатных плат посредством САПР, что значительно повысило качество конструирования и, в последствии, освоение приёмника в серийном производстве.

В серию приёмник был передан на Омский приборостроительный завод им. А.Г. Козицкого, а его модификации для разных видов и родов Вооруженных сил выпускались тремя заводами: ОПЗ им. Козицкого, Свердловским радиозаводом и Омским производственным объединением “Иртыш”. Военным морским достался собственный аналог “Бригантины” – “Скаляр-ДСК”, а сухопутным войскам – “Артек-Гелиос”.

РПУ “Бригантина” является супергетеродином с двойным преобразованием частоты. Первая ПЧ равна 65,128 МГц, вторая ПЧ – 128 кГц.

На **врезке 1** представлены параметры приёмника “Бригантина”.

Параметры приёмника «Бригантина»:

Врезка 1

Диапазон принимаемых частот _____ 10кГц - 29,999 МГц
 Виды принимаемых излучений _____
 _____ А1А, А2А, Н2А, J2В, F1В, G1В, F2С, А3Е, А3С, Н3Е, J3Е, J7В
 Шаг настройки _____ 10 Гц, 100 Гц, 1000 Гц
 Коэффициент шума _____ 16 (КВ), 22 (СВ), 35 (ДВ), 40 (СДВ)
 Чувствительность _____ 3,8 мкВ (SSB), 1,2 (CW)
 Избирательность приёмника по побочному каналу _____ 86 дБ
 Интермодуляционная избирательность _____ до 95 дБмкВ
 Диапазон АРУ _____ 120 дБмкВ

Одним из важнейших блоков приёмника является высокоизбирательный узкополосный преселектор, разбитый на 4 поддиапазона: 10-400 кГц, 400-600 кГц, 600-1500 кГц и 1500-30000 кГц. Перестройка в нем по частоте производится электронно при помощи дискретных конденсаторов с быстродействием в единицы миллисекунд. Преселектор, разработанный в секторе Г. Кудрявцева, при весьма компактных размерах и высокой скорости перестройки обеспечил высокую интермодуляционную избирательность по 2-му и 3-му порядкам и устойчивость к блокирующей помехе (до 150 дБмкВ при 10% отстройке). Вначале преселектор был выполнен в виде надстройки на РПУ. Но после многочисленных перекомпоновок внутренних блоков и оптимизации самого преселектора удалось высвободить достаточно места, чтобы разместить преселектор внутри приёмника. У зарубежных высокоизбирательных радиоприёмников подобный узкополосный преселектор выполнялся в виде отдельного блока, габариты которого были соизмеримы с габаритами самого РПУ. Перестройка в них обычно осуществлялась переменным конденсатором с помощью электропривода, а время перестройки составляло от десятых долей до единиц секунд.

Одна из наиболее интересных отличительных особенностей РПУ – использование в нем принципа параметрической адаптации чувствительности. Это позволяет автоматически, без вмешательства оператора, изменять распределение усиления по радиоприёмному тракту в зависимости от внешних условий с целью уменьшения их вредного влияния.

Преимущество перед зарубежными приемниками в этом плане состояло в том, что в условиях воздействия мощных помех (например, при дуплексной работе вблизи передатчика), попадающих в полосу преселектора и в полосу первой промежуточной частоты, обеспечивалась предельно высокая реальная избирательность.

Например, АРУ в приёмно-усилительном тракте обычного радиоприёмника после последнего преобразователя частоты (где производится основное усиление сигнала) поддерживает относительно постоянный, стабильный средний (или пиковый, или минимальный) уровень сигнала, независимо от мощности сигнала на входе приёмника.

В “Бригантине” же АРУ меняет коэффициент передачи не только на 2-й (основной) ПЧ, но также на входе преселектора и на входе первого преобразователя частоты в зависимости не только от полезного сигнала, но и от внеполосных помех, поддерживая средний уровень выходного сигнала неизменным. При этом АРУ в “Бригантине” имеет разные постоянные времени не только для однопольной телефонии – быстрая на нарастание сигнала и медленная на спад. В телеграфном режиме АРУ также не выключается, но постоянные времени изменяются, быстрая – на спад, медленная – на нарастание, тем самым при селективных замираниях ЧТ-посылка АРУ обеспечивает поддержание необходимого для работы демодулятора уровня наиболее подавленной посылки, не обращая внимание на то, что посылка с максимальным уровнем войдет в ограничение.

Кроме того, в “Бригантине” регулировка усиления во всех сечениях тракта реализована при помощи пассивных дискретных, а, следовательно, высоколинейных аттенюаторов. Управление ими, в отличие от приёмников 3-го поколения, осуществлялось микропроцессорной системой по более сложному алгоритму в зависимости не только от уровня полезного сигнала, но и от уровня группового сигнала в более широких полосах.

Распределение аттенюаторов в сечениях радиоприёмного тракта позволяло бороться с интермодуляционными помехами следующим образом: если на входе нелинейного элемента (например, на входе первого преобразователя частоты) включить линейное ослабление

(аттенюатор) на 1 дБ, то соответственно на 1 дБ ухудшается чувствительность, но при этом комбинационная помеха 3-го порядка уменьшается на 3 дБ. Благодаря этому, несмотря на ослабление полезного сигнала, в сложной помеховой обстановке улучшается отношение сигнал/помеха на выходе РПУ.

Далее уровень сигнала синхронно восстанавливался точно таким же увеличением коэффициента усиления по 2-й ПЧ. Разумеется, выигрыш получается в том случае, если полезный сигнал имеет запас по отношению к собственному шуму приёмника.

В КВ приёмнике в условиях “реального эфира” эта ситуация – типичная. Раньше, до “Бригантины”, аттенюатор на входе приёмника управлялся вручную оператором, который оценивал его влияние, анализируя качество выходного сигнала (на слух или по количеству ошибок при буквопечатании). В “Бригантине” это делается автоматически, другим словом – адаптивно. Помимо этого, в РПУ имеется возможность ручного включения аттенюатора, расположенного перед первой ПЧ, глубиной 30 дБ дискретно с шагом 3 дБ.

Немаловажными элементами приёмника являются известные электромеханические фильтры на цилиндрических резонаторах в тракте ПЧ производства ОНИИП (**фото 2**). Основные их достоинства – прямоугольность АЧХ (1,6 по уровням 3/66 дБ для ОБП), малое рабочее затухание в полосе пропускания (менее 2,5 дБ) и низкие интермодуляционные искажения (**рис. 1**). В блоке основной избирательности и усиления имеется 7 таких фильтров для разных режимов и родов работы, а также активный кварцевый фильтр для выделения полосы пропускания 110 Гц, состоящий из сдвоенного кварцевого резонатора.

В новом РПУ применили очень оригинальную по тому времени схему быстродействующей электронной защиты входа от перегрузок (до 100 вольт ЭДС) с использованием

мощного полевого транзистора. Кроме того, для нового РПУ в ОНИИП разработали малошумящий опорный генератор со стабильностью $\pm 1 \times 10^{-8}$ ($\pm 0,01$ ppm). Следует отметить, что кварцевые генераторы и ПАВ-фильтры ОНИИП – это гордость и заслуженное признание не только в нашей стране, но и за рубежом. Впервые при разработке РПУ были созданы специальные микросхемы для синтезатора частот (прообраз современной передовой технологии “система-на-кристалле”). Хорошее и простое решение последетекторного сложения сигналов для разнесенного приёма послужило повышению качества связи при замираниях. Остальные инженерные находки были связаны с тем, что надо было сделать хороший приёмник на весьма скудной отечественной элементной базе.

Не обошлась без принципиальных изменений и система питания РПУ (разработчик Н. Зубарев). Здесь удалось решить 2 задачи: возможность питания РПУ от бортовой сети 27 В с низкой стабильностью и высокий КПД блока питания. Впервые было применено импульсное высокочастотное преобразование постоянного тока в переменный, затем вновь в постоянный, но уже стабилизированный и требуемого номинала. За каждый номинал напряжения питания отвечал один из шести самостоятельных высокочастотных преобразователей. Но главной проблемой оставалась борьба с помехами сети и их гармониками. Вот здесь, в частности, и понадобилась многократная фильтрация и защита от магнитного высокочастотного поля. В итоге удалось совместить импульсный источник питания с

высококчувствительным РПУ в одном корпусе.

Особое место в радиоприёмнике занимают микросборки (**фото 3**). Они создавались вместе с приёмником с целью разместить его узлы в заданных габаритах, которые не должны были уступать зарубежным приёмникам. В то время на отечественной дискретной элементной базе сделать это было невозможно.

Поэтому изначально микросборок было много. Но в течение 5-6 лет они в подавляющей массе были вытеснены из приёмника в связи с появлением интегральных микросхем достаточно высокой степени интеграции. Микросборки остались только там, где не было их “микросхемных” аналогов, или они были оправданы по своей сущности, например, в широкополосных ВЧ-аттенюаторах.

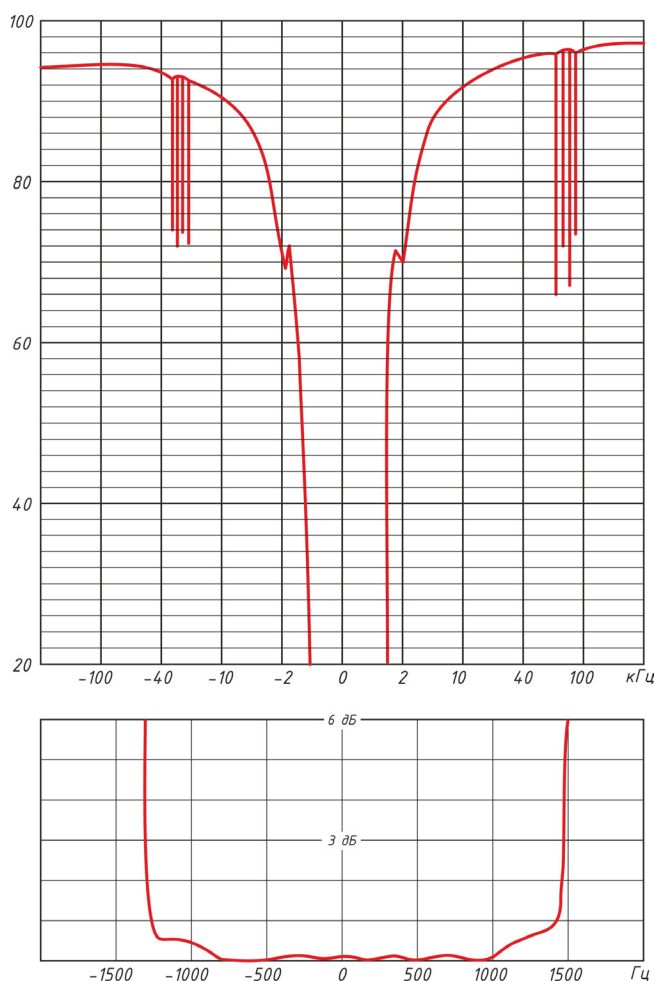


Рис. 1. Частотная характеристика затухания фильтра ЭЗ-335 (ОБП)



Фото 2

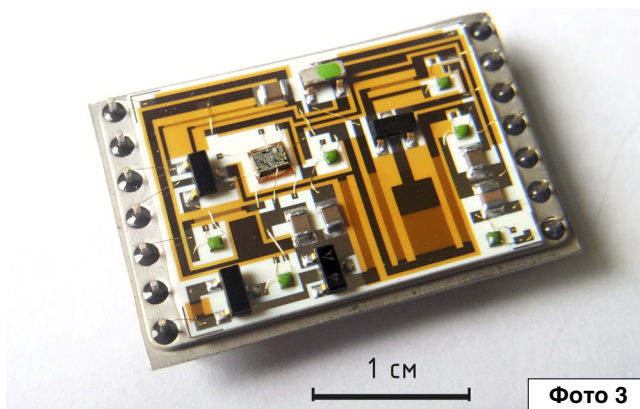


Фото 3

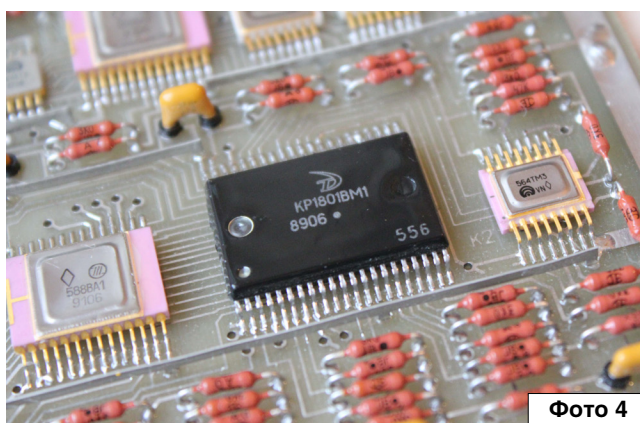


Фото 4

Стоит отметить, что “Бригантина” – это, прежде всего, радиоприёмник на базе ЭВМ, которая обеспечивает работу РПУ в автоматическом режиме, регулировку его параметров и непрерывный контроль исправности всех блоков и узлов. Кроме того, ЭВМ обеспечивает программируемые режимы сканирования по частоте и каналам. Имеются программы самодиагностики во всех возможных состояниях РПУ, а также программы сверки частоты опорного генератора, контроля памяти каналов и тестового контроля приёмного тракта в режиме ОПРЧ.

Система ввода-вывода обеспечивает местное и дистанционное управления (по протоколу RS-232). В памяти радиоприёмника может храниться до 100 каналов.

Параметры встроенной ЭВМ см. на **врезке 2**.

Внешними же отличительными особенностями нового РПУ от радиоприёмников 3-го поколения являлись мембранная пленочная клавиатура на лицевой панели приёмника и матричные знаковосинтезирующие индикаторы. Но так как микросхем для управления такими индикаторами отечественная промышленность не выпускала, для этих целей ОНИИП самостоятельно разработал специальные тонкопленочные микросборки.

На передней панели радиоприёмника расположены кнопка включения, динамик, знаковосинтезирующее табло, клавиатура с 32-мя клавишами и ручка квазиплавной настройки. Ручка КРН позволяет производить настройку частоты, громкости, выбор канала памяти, частоту третьего гетеродина и ручную регулировку усиления. Клавишами управления можно ввести частоту приема, номер канала, род работы, шаг настройки. Имеется клавиша вызова частоты бедствия 2182 кГц. Остальные клавиши отвечают за выбор полосы ПЧ, скорость срабатывания АРУ, программируемые режимы работы, и т.д. На знаковосинтезирующем табло отображаются все текущие состояния радиоприёмника: частота, род работы,

Параметры встроенной ЭВМ:

Врезка 2

Процессор (фото 4)	КР1801ВМ1
Тактовая частота	1536 кГц
Объем ОЗУ	4 кБ
Объем ПЗУ	16 кБ

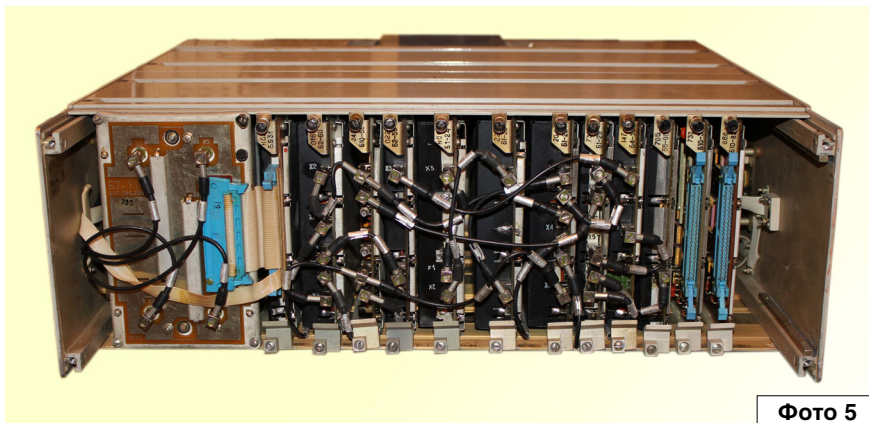


Фото 5

ширина полосы ПЧ и номер канала памяти. Помимо этого, на нём выводятся служебные сообщения и сообщения о неисправностях.

Внутренняя часть РПУ (**фото 5**) выполнена в виде вертикально расположенных блоков с двусторонней экранировкой, подключаемых к общей кросс-плате. Это позволяет легко производить замену блоков в случае выхода их из строя. Причём все ВЧ-соединения этих блоков расположены на передних краях, а все цифровые и питающие соединения – на противоположных. Таким образом, на блоках выполнено конструктивное разнесение цифровых и высокочастотных цепей для уменьшения их вредного взаимного влияния.

Следующим этапом разработки стала модернизация РПУ “Бригантина” – “Бригантина-М”. Это была попытка усовершенствовать “Бригантину”, несколько перекомпоновав блоки, увеличив глубину регулировок, заменив некоторые элементы, уменьшив цену. Модернизацию провели в самом начале перестройки, разрекламировав информацию о новом РПУ. Однако завод не воспринял новую модификацию, а только подкорректировал документацию на “Бригантину”, оставив название без изменения.

Дальнейшим развитием радиоприёмника послужил широкий ряд унифицированных радиоприёмников гражданского и военного назначения всех диапазонов частот (“Артек-Гелиос”, “Ольхон-Гелиос”, “Сердолик-ПРМ” и др.), предназначенных для использования в стационарных и подвижных комплексах связи, вынесенных приемных или совмещенных приемопередающих центрах.

На примере РПУ “Бригантина” можно сказать, что к моменту распада СССР научно-технический потенциал нашей промышленности позволял создавать аппаратуру высочайшего класса и качества на мировом уровне, а заложенные теоретические основы и технологии и сегодня служат фундаментом для создания современной техники.



Автор статьи
выражает благодарность
кандидату технических наук
В.И. Левченко.