



УДК 629.7.052

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.33.36

## РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭКБ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ АЗН-В И АИС В РФ

## DEVELOPING DOMESTIC ELECTRONIC COMPONENT BASE FOR ADS-B AND AIS TECHNOLOGY IMPLEMENTATION IN RUSSIAN FEDERATION

**КОРНЕЕВ ИГОРЬ ЛЕОНИДОВИЧ<sup>1</sup>**

*К. т. н., директор по научной работе, генеральный конструктор по навигации и связи  
korneyev@mri-progress.ru*

**KORNEEV IGOR L.<sup>1</sup>**

*Ph.D, science chief, general constructor of CNS  
korneyev@mri-progress.ru*

**КУЛАКОВ МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ<sup>2</sup>**

*К. т. н., ведущий инженер  
kulniias@gmail.com*

**KULAKOV MIKHAIL S.<sup>2</sup>**

*Ph.D, principal engineer  
kulniias@gmail.com*

**ГРИГОРЬЕВ ИЛЬЯ ДМИТРИЕВИЧ<sup>2</sup>**

*Ведущий инженер  
9150419378@ya.ru*

**GRIGOREV ILYA D.<sup>2</sup>**

*Principal engineer  
9150419378@ya.ru*

**ТАТАРЧУК ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ<sup>2</sup>**

*Ведущий инженер  
ivantmtuci@gmail.com*

**TATARCHUK IVAN A.<sup>2</sup>**

*Principal engineer  
ivantmtuci@gmail.com*

<sup>1</sup>АО «НИИМА «Прогресс»  
125183, г. Москва, проезд Черепановых, 54  
<sup>2</sup>ФГУП «ГосНИИАС»  
125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7

<sup>1</sup>Microelectronics Research Institute PROGRESS JSC  
("PROGRESS MRI" JSC)  
54 Cherepanovykh Lane, Moscow, 125183, Russia  
<sup>2</sup>State Research Institute of Aviation Systems  
7 Victorenko St., Moscow, 125319, Russia

Проведен анализ требований к ЭКБ для использования в реализации оборудования АЗН-В и АИС. Приведено описание СБИС типа «система на кристалле», разработанных в АО «НИИМА «Прогресс», позволяющих осуществить реализацию оборудования АЗН-В и АИС на отечественной элементной базе. Приведено сравнение с аналогами.

*Ключевые слова:* АЗН-В; VDL mode 4; АИС; ASIC; импортозамещение.

The paper analyses the requirements for ECB for use in the ADS-B and AIS equipment implementation. Besides, it describes a VLSI system-on-chip developed in JSC "NIIMA PROGRESS" allowing the realization of ADS-B and AIS equipment on domestic element base. A comparison with analogues has been given.

*Keywords:* ADS-B; VDL mode 4; AIS; ASIC; import substitution.

Технологии мониторинга движения транспорта в последнее время становятся все более распространенными и охватывают все виды наземного, морского и воздушного транспорта. При этом объект мониторинга сам определяет свое местоположение и передает сведения о своем состоянии по открытому каналу радиосвязи. Службы сопровождения и при возможности, другие участники движения могут получать эти сведения, что обеспечивает высокий уровень ситуационной осведомленности экипажей транспорта и снижает риски столкновений, а также позволяет информировать службы спасения о чрезвычайных ситуациях.

В качестве примера таких технологий можно привести следующие примеры: АЗН-В (автоматическое зависимое наблюдение — вещательное, англ. ADS-B automatic dependent surveillance — broadcast), применяемое в гражданской авиации; АИС (автоматическая идентификационная система), применяемая в гражданском судоходстве; E-call и ЭРА-ГЛОНАСС, применяемые для мониторинга автотранспорта. Вышеперечисленные системы основаны на следующем принципе: бортовое оборудование получает

информацию о собственном местоположении от ГНСС (глобальные навигационные спутниковые системы) или иного источника данных. Далее формируется сообщение, содержащее идентификатор транспорта, информацию о собственном местоположении и иную произвольную информацию. Созданное сообщение передается по открытому каналу радиосвязи. Сообщение может быть получено службами мониторинга или другими участниками воздушного движения. В последнем случае за счет ситуационной осведомленности экипажей воздушных и морских судов повышается безопасность движения, так как снижается вероятность столкновения, что будет еще более эффективно при увеличении числа судов в будущем [1, с. 1].

Системы АЗН-В начали разрабатываться и внедряться еще в 70-х годах 20-го века, АИС — в 80-х, E-call и ЭРА-ГЛОНАСС — в 2000-х. АЗН-В и АИС используют собственные системы передачи информации, а ЭРА-ГЛОНАСС — передачу данных по сетям мобильных операторов. В связи с этим, несмотря на то что технологии АЗН-В АИС имеют более давнюю историю, их внедрение



происходит чрезвычайно медленно в отличие от технологий мониторинга автотранспорта. Последнее связано не только с длительностью стандартизации и сертификации, но и со сложностью реализации оборудования, так как АИС и АЗН-В используют собственные каналы передачи данных.

В настоящий момент согласно генеральному плану ИКАО на 2013–2028 гг. и программе «Внедрение средств вещательного автоматического зависящего наблюдения (2011–2020 годы)» [1] Министерства транспорта РФ к 2020 г. все воздушные суда пассажирской и транспортной авиации, а также БПЛА должны оснащаться оборудованием АЗН-В (автоматическое зависящее наблюдение — вещательное). При этом под аббревиатурой АЗН-В подразумевается сразу два стандарта технологии — 1090ES и VDL mode 4 [1]. Оба стандарта приняты ИКАО, и оба рекомендованы для внедрения на территории РФ.

АЗН-В стандарта VDL mode 4 позволяет обеспечить ситуационную осведомленность экипажей воздушных судов без использования наземной инфраструктуры. Последнее позволяет осуществлять полеты БЛА и ЛА в одном воздушном пространстве. При этом в стандарте заложены возможности для реализации протоколов передачи пользовательских данных с гарантированной доставкой сообщения, что открывает огромные возможности для решения задач мониторинга с использованием самоорганизующихся сетевых структур [2]. Последнее достигается за счет использования уникального метода доступа к среде — самоорганизующегося временного разделения каналов. Все эти возможности позволяют, например, передавать сведения о состоянии воздушного движения за пределы зоны устойчивого радиоприема за счет ретрансляции сообщений между ЛА. VDL mode 4 является совместной разработкой РФ и Швеции. Стандарт сертифицирован в ИКАО в 2004 году.

АЗН-В стандарта 1090ES не имеет возможности передачи произвольной информации. Оборудование 1090ES обеспечивает ситуационную осведомленность исключительно для служб наблюдения, не предоставляя информацию экипажу. Поскольку стандарт 1090ES является развитием технологии вторичного обзорного локатора и начал внедряться в США в конце 90-х, оборудование этого стандарта более распространено и рекомендовано к внедрению в Европе. Согласно плану Федерального авиационного агентства США к 2020 г. 80% ЛА должны быть оснащены оборудованием 1090ES.

Экспертами ИКАО [3, 57 с.] отмечается: «Эти функции (повышения ситуационной осведомленности), основанные на использовании бортового оборудования, не требуют какой-либо поддержки с земли, поскольку они могут быть реализованы любым воздушным судном, оснащенным соответствующим оборудованием. Это зависит от наличия на борту воздушного судна оборудования ADS-B OUT. Достаточно недорогое бортовое электронное оборудование для воздушных судов авиации общего назначения (GA) пока отсутствует». При этом оборудование, используемое российскими авиаперевозчиками и судоходными компаниями, производится исключительно за границей, так как уже сертифицировано для применения на борту. Российскими исследователями отмечается [4], что авиация РФ в своем нынешнем состоянии нуждается в современной и экономически эффективной авионике отечественного производства, которая бы позволила использовать технологии АЗН-В.

В свою очередь, под технологией АИС подразумевается только один стандарт, изначально прошедший сертификацию

в МСЭ (Международный союз электросвязи). Большая часть морских судов после 2004 г. оснащена оборудованием АИС, также преимущественно зарубежного производства. Таким образом, задача разработки электронной компонентной базы для реализации технологии АЗН-В/АИС является актуальной.

Основной инфраструктурной единицей технологии АЗН-В/АИС является транспондер — приемопередатчик, состоящий из:

- процессора связи;
- модуля приема сигналов;
- модуля передачи сигналов;
- навигационного модуля ГНСС (или интерфейса к внешнему модулю).

Процессор связи осуществляет взаимодействие с бортовым оборудованием, навигационным модулем и управляет процессом приема, передачи и формирования сообщения согласно протоколам стандарта АЗН-В. Модули приема и передачи выполняют функции соответственно приема и передачи радиосигналов АЗН-В.

На современном этапе развития радиотехнических средств наиболее предпочтительным подходом к проектированию является разработка приемопередатчиков по принципу программно-конфигурируемого радио (ПКР, англ. SDR — software define radio). При этом в качестве ЭКБ для низкочастотной части ПКР используются чаще всего ПЛИС или ЦСП в сочетании с дискретными модулями ЦАП/АЦП, а для высокочастотной — дискретные микросхемы смесителя и синтезатора частоты или СБИС, которая включает в себя ВЧ-тракт. Главный недостаток подобного подхода — зависимость от иностранных производителей и поставщиков, подчиняющихся различным ограничениям на экспорт. Усилители мощности и МШУ приемной части в контексте статьи не рассматриваются, поскольку эти компоненты в общем случае не попадают под ограничения, однако в любой момент могут быть сняты с производства. Для полного импортозамещения требуется замена каждого дискретного компонента отечественным аналогом, при этом следует учитывать характерные черты отечественных изделий и комплектующих:

- отсутствие ПЛИС, способных конкурировать с современными изделиями Altera и Xilinx;
- более высокая стоимость;
- худшие (в некоторых случаях) характеристики;
- ограниченные объемы производства.

Для решения проблем импортозамещения при реализации технологий АЗН-В/АИС в РФ АО «НИИМА «Прогресс» была разработана и в настоящий момент времени проходит верификацию система на кристалле, состоящая из цифровой СБИС K1917BC014 (ЦПП-ЛСН) и цифроаналоговой СБИС K5200MX014 (РППУ-ЛСН). Система на кристалле разработана полностью (за исключением процессора) на основе собственных IP-блоков.

СБИС K1917BC014 (ЦПП-ЛСН) является полнофункциональным одноканальным полудуплексным приемопередатчиком стандартов VDL mode 4/AIS/1090ES, совмещенным с микроконтроллером семейства Cortex M3. В состав СБИС входят:

- передатчик сигналов GFSK;
- приемник сигналов GFSK;
- измеритель времени прихода сигналов GFSK;
- передатчик сигналов 1090ES;
- приемопередатчик сигналов ЛСН (локальная система навигации);

- генератор ПСП (псевдослучайная последовательность) для ЛСН;
- часы реального времени;
- микроконтроллер Cortex M3 с блоком интерфейсов;
- блок цифрового интерфейса к микро-схеме РППУ-ЛСН.

Структурная схема СБИС ЦПП ЛСН представлена на рис. 1.

СБИС ЦПП ЛСН позволяет формировать сигналы GFSK с произвольными параметрами модуляции. Предельные значения параметров модуляции, таких как скорость передачи и девиация частоты, ограничены разрядностью управляющих регистров и тактовой частотой задающего генератора. В состав блока передатчика входит фильтр КИХ (конечная импульсная характеристика) с загружаемыми коэффициентами, что позволяет формировать сигналы GFSK как стандарта VDL mode 4 и АИС, так и 1090ES. Для формирования НЧ аналогового сигнала в базовой полосе используется метод прямого цифрового синтеза, что позволяет обеспечить контроль и постоянство параметров модуляции. Передатчик сигналов 1090ES интегрирован в этот же блок и реализован как альтернативная конфигурация модулятора: вместо формирования GFSK-сигнала формируется только низкочастотный АМ (амплитудно-модулированный) сигнал, при этом времена нарастания и спада фронтов информационных импульсов определяются импульсной характеристикой фильтра. В состав блока передатчика также входит блок формирования сообщений стандарта АЗН-В/АИС, который позволяет упростить разработку ПО и снизить нагрузку на микроконтроллер за счет того, что служебные заголовки сообщения и контрольная сумма формируются в блоке логики передатчика без участия процессора. Таким образом, для формирования сообщения необходимо загружать в регистры передатчика только информационную часть.

В состав СБИС ЦПП ЛСН входит блок часов реального времени (ЧРВ), которые могут управлять временем старта передатчика в пределах секунды. Сигнал начала секунды СБИС может получать из внешнего источника. Следовательно, разработке ПО не требуется применять специальные меры по обеспечению временной синхронизации передатчика, что необходимо в VDL mode 4 и АИС. Время старта в пределах секунды задается с точностью до одного такта. Разрядность данных цифрового интерфейса передатчика — 12 бит, что обеспечивает соблюдение требований стандарта по внеполосным излучениям.

Блоки приема сигналов СБИС K1917BC014 позволяют осуществлять демодуляцию и декодирование сигналов VDL mode 4 и АИС. Тактовая частота блока приема — 19,2 МГц. Большой коэффициент передискретизации позволяет повысить разрядность представления данных с 8 бит до 11 за счет использования фильтров-дециматоров. В СБИС реализован цифровой тракт фильтрации, обеспечивающий величину подавления первого соседнего канала — 72 дБ. Тракт фильтрации состоит из однородных фильтров-дециматоров и фильтров КИХ с загружаемыми коэффициентами.

Оцифрованный сигнал на низкой ПЧ поступает на вход блока цифрового гетеродина. Цифровой гетеродин осуществляет перенос спектра сигнала и разложение входного сигнала

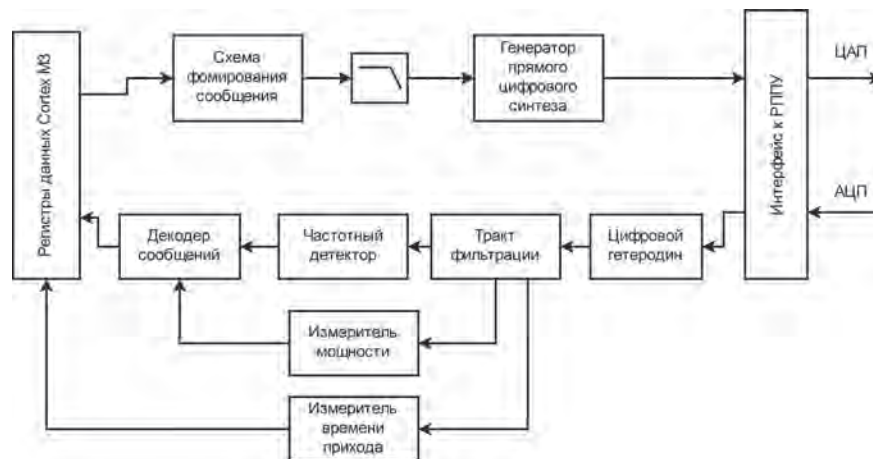


Рис. 1. Структурная схема СБИС ЦПП ЛСН

на квадратурные составляющие. Далее происходит фильтрация комплексного сигнала в полосе рабочего канала с повышением разрядности за счет передискретизации. После этого сигнал поступает на блок частотного детектора. Демодулированный сигнал поступает в блок декодирования. Из блока декодирования принятые данные без служебных заголовков поступают в регистры принятых данных микроконтроллера. Также в блоке декодирования осуществляется проверка контрольной суммы. Результат проверки поднимает логический флаг в одном из регистров микроконтроллера. В приемник встроены измеритель мощности сигнала и счетчик канальных интервалов, требующиеся согласно стандартам VDL mode 4 и АИС, что также снижает вычислительную нагрузку на микроконтроллер.

Актуальной является проблема кибербезопасности технологии АЗН-В [5, 6]. В частности, одной из главных проблем считается незащищенность ложных сообщений АЗН-В — спуфинга. Эта уязвимость была очевидна на этапе разработки, так как АЗН-В стала актуальной только недавно, с развитием и повышением доступности технологий ПКР.

Для решения проблем кибербезопасности ИКАО предлагается определять истинность положения отправителя сообщения АЗН-В с помощью мультилатерации. Системы мультилатерации, предлагаемые ИКАО, определяют местоположение источника сигнала АЗН-В путем измерения разности дальностей от источника до наземных пунктов приема сигналов. Если определенное местоположение не совпадает с местоположением ЛА, которое передано в сообщении, значит, это сообщение от несуществующего ЛА — фантома [7].

Измерение дальности осуществляется путем измерения момента времени прихода сигналов АЗН-В. СБИС K1917BC014 содержит блок корреляторов, осуществляющий измерение времени прихода сигналов GFSK [8]. Определение времени прихода осуществляется путем фиксации характерных точек взаимно-корреляционной функции относительно внутренней временной шкалы. Согласно результатам имитационного моделирования такого измерителя СКО ошибки измерения дальности составляет 150 м при отношении сигнал/шум 20 дБ. При ОСШ 60 дБ, что теоретически соответствует расстоянию 120 км, величина СКО ошибки — 5 м. Также имеется возможность использовать блок измерения времени прихода в качестве демодулятора для повышения достоверности приема по сравнению с частотным детектором.

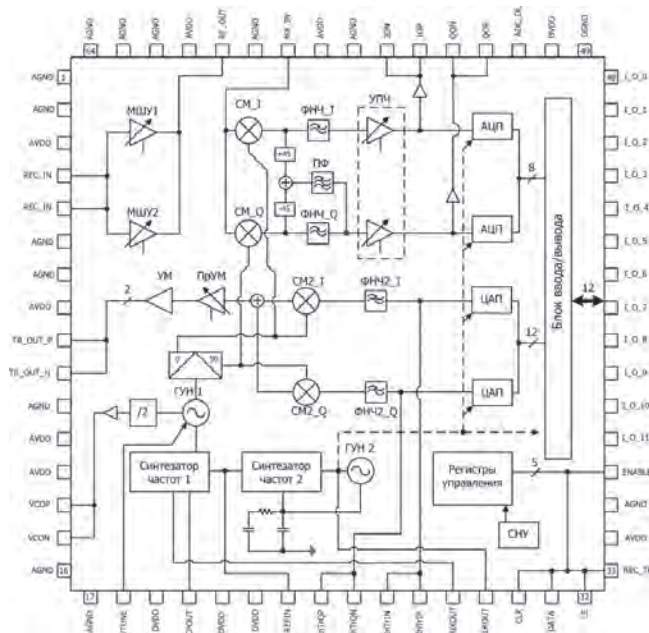


Рис. 2. Структурная схема СБИС РППУ-ЛСН

СБИС K5200MX014 (РППУ-ЛСН) осуществляет цифроаналоговое (12 бит) и аналого-цифровое (8 бит) преобразования, а также выполняет перенос спектра комплексного полезного сигнала вверх и вниз в диапазоне 0,1–2,4 ГГц. СБИС K5200MX014 разработана по принципу приемника прямого преобразования с низкой ПЧ и обеспечивает чувствительность –88 дБм. В состав тракта УПЧ входит блок аналоговых фильтров Баттерворта 5-го и 3-го порядков. НЧ-фильтр Баттерворта 5-го порядка имеет перестраиваемую частоту среза, значение которой определяется как  $[1,25; 2,5]$  МГц. ПФ-фильтр Баттерворта 3-го порядка имеет фиксированную центральную частоту 1 МГц и полосу пропускания 50 кГц. Этот фильтр предназначен для аналоговой фильтрации сигналов VDL mode 4 и АИС. СБИС РППУ-ЛСН позволяет полностью реализовать аналоговую часть (RF frontend) ПКР. Структурная схема СБИС РППУ-ЛСН представлена на рис. 2. Как видно из рис. 2, в состав СБИС также входит синтезатор частоты 2, позволяющий получить произвольную частоту тактирования в диапазоне  $[7,5; 60]$  МГц с шагом 10 кГц. Формирование несущего сигнала осуществляется в синтезаторе частот 1.

Обе СБИС используют 12-разрядный последовательно-параллельный интерфейс для связи друг с другом. Таким образом, система на кристалле, состоящая из двух СБИС, позволяет отказаться от использования дискретных компонентов цифровой и аналоговой части радиоканала. При этом упрощается написание программного обеспечения за счет того, что функции физического и части канального уровней протоколов вынесены в блоки логики СБИС. Последнее позволяет отказаться от ЦСП и ПЛИС, так как микроконтроллер, входящий в состав K1917BC014, будет выполнять функции исключительно обработки сообщений, а не обработки сигналов.

Ближайшие аналоги по функциональности и составу, которые могли бы послужить как ЭКБ для реализации АЗН-В, — СБИС AD9361 производства США и I321XD1U производства АО «Миландр». В состав СБИС AD9361 не входит как процессорная часть, так и какие-либо блоки, осуществляющие

формирование модулирующих сигналов, поэтому данная СБИС может использоваться только как аналоговая часть ПКР-транспондера. Микросхема I321XD1U не содержит каналов передачи, а ее частотный диапазон — 1–300 МГц, что не позволит принимать сигналы АЗН-В, соответствующие стандарту I090ES, центральная частота которых 1090 МГц. Аналогично данная СБИС не имеет каких-либо блоков демодуляции сигналов и требует отдельной процессорной части для выполнения приема и декодирования сигналов АЗН-В.

Таким образом, система на кристалле, состоящая из цифровой СБИС K1917BC014 (ЦПП-ЛСН) и цифроаналоговой СБИС K5200MX014 (РППУ-ЛСН), является наиболее подходящей ЭКБ в экономическом и техническом аспектах для реализации технологий АЗН-В и АИС в РФ, что позволит разрабатывать на ее основе серийные малогабаритные транспондеры с низким энергопотреблением, которые можно использовать в том числе и на БЛА. При этом в систему на кристалле заложены возможности по построению системы мультilaterации с использованием сигналов АЗН-В, что расширяет функциональные возможности реализуемого оборудования.

Авторы считают, что новыми в данной работе являются две разработанные системы на кристалле отечественного производства, которые в комбинации друг с другом послужат основой для разработки отечественного оборудования АЗН-В/АИС. Была выпущена опытная партия, проводится верификация и тестирование разработанных систем на кристалле.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Клёсова Ю. В. Перспективные технологии в авиации на базе ОВЧ ЛПД режима 4 / Ю. В. Клёсова, И. А. Татарчук, М. С. Кулаков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2015. — Т. 9. — № 8. — С. 63–67.
2. Кулаков М. С. Разработка принципов организации мобильных сетевых структур в авионике.: дис. канд. техн. наук: 05.12.13: защищена 22.03.18. — М., 2018. — 186 с.
3. Глобальный аэронавигационный план на 2013–2028 гг. Doc 9750-AN/963 Издание четвертое, 2013 / Международная организация гражданской авиации — Монреаль, Канада.
4. Сербиновский Б. Ю. Возможности развития технологий ADS-B и MLAT в России / Б. Ю. Сербиновский, М. В. Черникова // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2015. — Т. 1. — № 2. — С. 1–11.
5. Григорьев И. Д., Орлов В. Г. Анализ уязвимостей АЗН-В на базе 1090 Extended Squitter // Григорьев И. Д., Орлов В. Г. Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения, 2016. — № 5. — Т. 16. — С. 171–174.
6. Григорьев И. Д. Исследование вопросов безопасности системы АЗН-В // Григорьев И. Д., Орлов В. Г. Телекоммуникации и информационные технологии, 2016. — Т. 3. — С. 53–55.
7. Фальков Э. Я. Систематика авиационных киберугроз и методов защиты от них: существующие и возможные пути решения // Фальков Э. Я. Навигация, наведение и управление летательными аппаратами: сборник тезисов докладов. — Москва, 21–22 сентября 2017 г. — С. 220–221.
8. Фальков Э. Я., Татарчук И. А., Егоров В. В. Имитационное моделирование системы определения взаимных координат между летательными аппаратами в режиме VDL 4 АЗН-В // Авиационные системы в XXI веке: сборник тезисов докладов. — Москва, 2016. — С. 275.