

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СВЯЗНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ В ПРИБОРНОМ КОМПЛЕКСЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В. Я. АРХИПКИН¹, В. А. БОЛЬШАКОВ², Т. В. ВЕКШИНА²,
М. И. ДЯБИН³, В. В. ЕРОХИН⁴

¹ООО „Аккорд“, 124498, Москва, Россия

²Российский государственный гидрометеорологический университет,
192007, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: v.a.bolsh@mail.ru

³ООО „Каскад“, 124460, Москва, Россия

⁴АО НИИМА „Прогресс“, 125183, Москва, Россия

Проанализированы возможности нового отечественного специализированного связного вычислителя (системы на кристалле) СнК 5580ТР016, предназначенного для реализации функций автоматических гидрометеорологических станций — обеспечения эффективного сбора измерительной информации и надежной, защищенной передачи ее потребителю. Вычислитель содержит, помимо необходимых средств микроконтроллера, связной модуль, технические характеристики которого соответствуют требованиям по скорости, надежности и защищенности передачи информации по радиоканалу связи. Связной модуль вычислителя обеспечивает передачу данных с высокой скоростью в сложной электромагнитной обстановке в условиях многолучевого распространения сигналов при воздействии естественных и преднамеренных помех, а также адаптивность канала связи по скорости передачи информации, спектральной эффективности и выходной мощности к помеховой обстановке и дальности работы. Такое совмещение в одном устройстве функций управления измерениями и беспроводной передачи информации потребителю позволяет сократить сроки разработки автоматических гидрометеорологических станций, повысить их надежность и экономичность. Возможности вычислителя и его высокие эксплуатационные характеристики соответствуют базовым положениям программы импортозамещения элементной компонентной базы электроники новыми отечественными техническими средствами, в том числе и в гидрометеорологических информационно-измерительных системах.

Ключевые слова: автоматическая гидрометеорологическая станция, система на кристалле, связной модуль, помехоустойчивость, защищенность информации, адаптивность, импортозамещение

Портативные малогабаритные автоматические гидрометеорологические станции играют существенную роль в современных системах мониторинга природной среды. Такие информационно-измерительные профессиональные системы состоят из интеллектуальных датчиков с

цифровым интерфейсом, блоков подготовки данных (согласование, усиление, фильтрация) и аппаратуры передачи данных (АПД).

К аппаратуре передачи данных геоинформационных систем, особенно гидрометеорологических, предъявляются повышенные требования по помехоустойчивости, скрытности, надежности связи, электромагнитной совместимости, имитостойкости (устойчивости к структурным помехам) и защите информации [1]. В гидрометеорологических геоинформационных системах повышение требований к эксплуатационным характеристикам измерительного полевого оборудования, точности и повторяемости результатов измерений гидрологических параметров в различных географических точках земного шара приводит к необходимости использования новых цифровых методов обработки информации [2, 3]. На станциях удаленного доступа требуется при этом длительное накопление гидрологической информации, поэтому в схемотехнических решениях должны учитываться условия минимизации энергопотребления [4, 5]. Необходимым условием бесперебойной работы технических средств измерения и систем передачи информации является их устойчивость к иногда агрессивной окружающей среде. Устройство защиты средств измерения и встроенной управляющей микропроцессорной системы от атмосферных воздействий должно отвечать двум основным требованиям: чувствительные элементы датчиков при проведении измерений должны находиться в исследуемой среде, а в периоды между измерениями должны быть защищены от воздействий этой среды (пыли, забрызгивания, обледенения) и других природных явлений и факторов [3].

Комплексы гидрометрического оборудования — важная составная часть судовых гидрометеорологических систем, предоставляющих необходимые данные о состоянии окружающей среды для навигации кораблей и работы систем корабельного вооружения. Эта информация также поступает в базы данных гидрометеорологических центров и используется в целях исследования мирового океана [6].

Микроконтроллеры информационно-измерительных систем должны отвечать ряду специальных требований, анализ которых позволяет выбрать тип микроконтроллера для конкретного приложения. В частности, системы гидрометеорологического мониторинга отличаются высокими требованиями к точности измерений и большим разнообразием типов измерительных преобразователей [7, 8]. В большинстве систем используются измерительные преобразователи зарубежного производства и в них обычно отсутствуют встроенные средства беспроводных коммуникаций и защиты информации, наличие которых особенно важно [4].

Аппаратура передачи данных для автоматических гидрометеорологических станций должна обеспечивать:

- высокую скорость передачи информации;
- асимметрию прямого и обратного каналов по скорости передачи информации;
- минимальные задержки в канале (работа в режиме реального времени);
- возможность работы в сложной электромагнитной обстановке при наличии естественных и преднамеренных помех (помехозащищенность) в условиях многолучевого распространения сигналов;
- гибкость и адаптивность канала связи по скорости передачи информации, спектральной эффективности и выходной мощности; наличие режимов адаптации по излучаемой мощности, пропускной способности и частоте излучения в зависимости от помеховой обстановки и дальности работы;
- максимально-скрытную радиосвязь;
- криптозащищенный режим работы (ГОСТ 34-12-2018, ГОСТ 34-13-2018).

Анализ перечисленных требований к АПД показывает, что практическая реализация такой аппаратуры невозможна на базе существующих стандартов связи (Bluetooth, Wi-Fi, DVB-T и др.), использующих открытые протоколы [9]. Кроме того, серьезными препятствиями к использованию открытых стандартов связи для АПД являются:

- низкая информационная безопасность канала связи (криптостойкость);
- низкая имитостойкость к помехе, имеющей одинаковую с полезным сигналом структуру;
- отсутствие скрытных и помехозащищенных режимов работы;
- отсутствие возможности использования высоких (выше 2 ГГц) диапазонов рабочих частот.

Перечисленные особенности открытых стандартов связи обуславливают необходимость специализированной АПД для защищенных геоинформационных систем [10].

На рынке электронной компонентной базы (ЭКБ) представлены отечественные интегральные микросхемы, выполненные на процессорах „общего профиля“, позволяющие реализовать каналы передачи данных, например: NVCom-02T компании ЭЛВИС, 1967ВЦ2Ф компании „Миландр“. Однако проектирование АПД на базе процессоров „общего профиля“ приводит к значительному увеличению времени разработки аппаратуры и, как следствие, повышению ее стоимости.

Современные тенденции развития рынка микроэлектроники и телекоммуникаций диктуют необходимость применения высокоинтегрированных специализированных (ASIC) „систем на кристалле“ (СНК). Под устройствами класса „система на кристалле“ в общем случае понимаются устройства, в которых на едином кристалле интегрированы один или несколько процессоров и функциональные устройства, некоторый объем памяти, ряд периферийных устройств и интерфейсов, т.е. максимум того, что необходимо для реализации функций АПД — сбора, хранения и передачи информации. Использование ASIC позволяет увеличить производительность (быстродействие), уменьшить потребляемую мощность, существенно сократить время на разработку, снизить себестоимость изделия.

Опыт разработки АПД и анализ тенденций развития мировой индустрии в этой области показывает, что для проектирования перспективны следующие методы и алгоритмы.

1. Метод ортогонального частотного уплотнения (Orthogonal Frequency Division Multiplexing — OFDM) в сочетании со спектрально-эффективными сигнально-кодowymi конструкциями (QAM-16, QAM-64) и алгоритмами помехоустойчивого кодирования (каскадные коды, блочные и сверточные турбокоды с быстрыми алгоритмами декодирования, обеспечивающими минимальные задержки в канале) [11].

2. Метод разнесенного приема и передачи сигналов (Multiple in Multiple Out — MIMO), позволяющий увеличить помехоустойчивость канала связи на величину от 3 до 10 дБ, что важно при работе над водной поверхностью. При этом особенно актуальной является задача оценки параметров многолучевых каналов связи.

3. Интеллектуальные алгоритмы, позволяющие адаптировать канал радиосвязи к изменяющимся условиям эксплуатации. Адаптация подразумевает поиск компромисса между скоростью передачи информации, спектральной эффективностью, помехоустойчивостью и выходной мощностью. Этим обстоятельством обуславливается применение в АПД адаптивных режимов работы [12], таких как:

— режим адаптивной модуляции, при котором АПД подстраивается к характеристикам канала в каждый момент времени, „преобразуя“ скорость передачи в помехоустойчивость и наоборот; в зависимости от отношения сигнал/шум в канале связи АПД выбирает метод модуляции, при котором обеспечивается устойчивая работа;

— режим адаптивной мощности, при котором АПД постоянно регулирует выходную мощность передатчика и излучает уровень мощности, необходимый для поддержания заданного качества связи; это позволяет повысить показатель энергосбережения АПД, а также улучшить электромагнитную совместимость.

Реализация рассмотренных методов и алгоритмов требует использования в АПД последних достижений микроэлектроники, что позволит обеспечить высокую производительность обработки (быстродействие), оптимизировать параметры и повысить степень интеграции аппаратуры.

Для адаптации к условиям связи при организации каналов связи разной частоты, модуляции и мощности передачи СнК должна обладать функциями программно-определяемого радио, т.е. допускать значительную перестройку параметров связи.

Удовлетворить всем перечисленным требованиям можно за счет использования в составе устройств специализированного связанного вычислителя (ССВ), состоящего из OFDM-модема и блока обработки информации с криптомодулями.

На отечественном рынке ЭКБ анонсирована СнК 5580TP016, предназначенная для применения в качестве специализированного связанного вычислителя защищенных систем и средств радиосвязи, в том числе информационно-измерительных систем [13]. Структурная схема СнК 5580TP016 приведена на рис. 1, в ее состав входят:

- четыре вычислительных ядра MIPS 64 разрядностью 64 бита с рабочей частотой до 1 ГГц, с кешем команд, кешем данных и контроллером векторных прерываний;
- загрузочное ПЗУ и статическое ОЗУ;
- контроллер DDR3 с функцией прямого доступа в память;
- контроллер флеш-памяти;
- блок криптообработки данных (в стандартах AES и ГОСТ 28147-89);
- 16-разрядный процессор управления периферийными устройствами;
- пять контроллеров Ethernet IEEE802.3 (10/100/1000 Мбит/с);
- контроллеры UART, SPI, I2C, LVDS, GPIO;
- таймер глобального времени и сторожевой таймер;
- OFDM-модем, имеющий следующие характеристики:

Максимальная ширина полосы сигнала, МГц	56
Минимальная ширина полосы сигнала, кГц	15
Максимальная скорость передачи по радиоканалу, Мбит/с	150
База OFDM	256
Типы манипуляции	BPSK; QPSK; QAM-16; QAM-64
Помехоустойчивое кодирование	каскадное:
	Рида — Соломона и Витерби
Скорость декодера Витерби	1/2, 2/3, 3/4

Номинальные значения напряжений питания:

- напряжение питания ядра — 0,90 В;
- напряжение питания периферии — 2,50 В.

Для увеличения общей производительности в СнК использована 256-разрядная шина AXI. Основная особенность шины AXI — пакетная организация (burst-based) обмена данными и наличие нескольких каналов чтения и записи, каждый из которых работает независимо. Арбитры каналов обеспечивают справедливое распределение шинно-временного пространства между всеми активными процессами.

Применение СнК 5580TP016 позволяет учесть высокие специфические требования к точности измерений и разнообразию измерительных преобразователей, что особенно важно для гидрометеорологических приложений.

В СнК предусмотрена возможность прямого сопряжения с рядом аналоговых микросхем, в том числе с блоком приемопередатчика. Структурная схема АПД с ССВ 5580TP016 приведена на рис. 2.

При тестировании АПД, выполненной на ССВ 5580TP016, получены следующие результаты:

- реализована передача данных с модуляцией OFDM поднесущих методами BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 по радиоэффиру;
- реализована работа OFDM-модема СнК в режимах частотного дуплекса и временно-частотного дуплекса с симметричными и асимметричными (в соотношениях 1/2, 1/4, 1/8, 1/16) трафиками;

- реализована работа OFDM-модема СнК в режимах „точка-точка“ (point-to-point) и „точка-многоточка“ (point-to-multipoint) с временным разделением каналов;
- реализованы (программно) режимы адаптации OFDM-модема СнК по мощности, модуляции поднесущих и частоте.

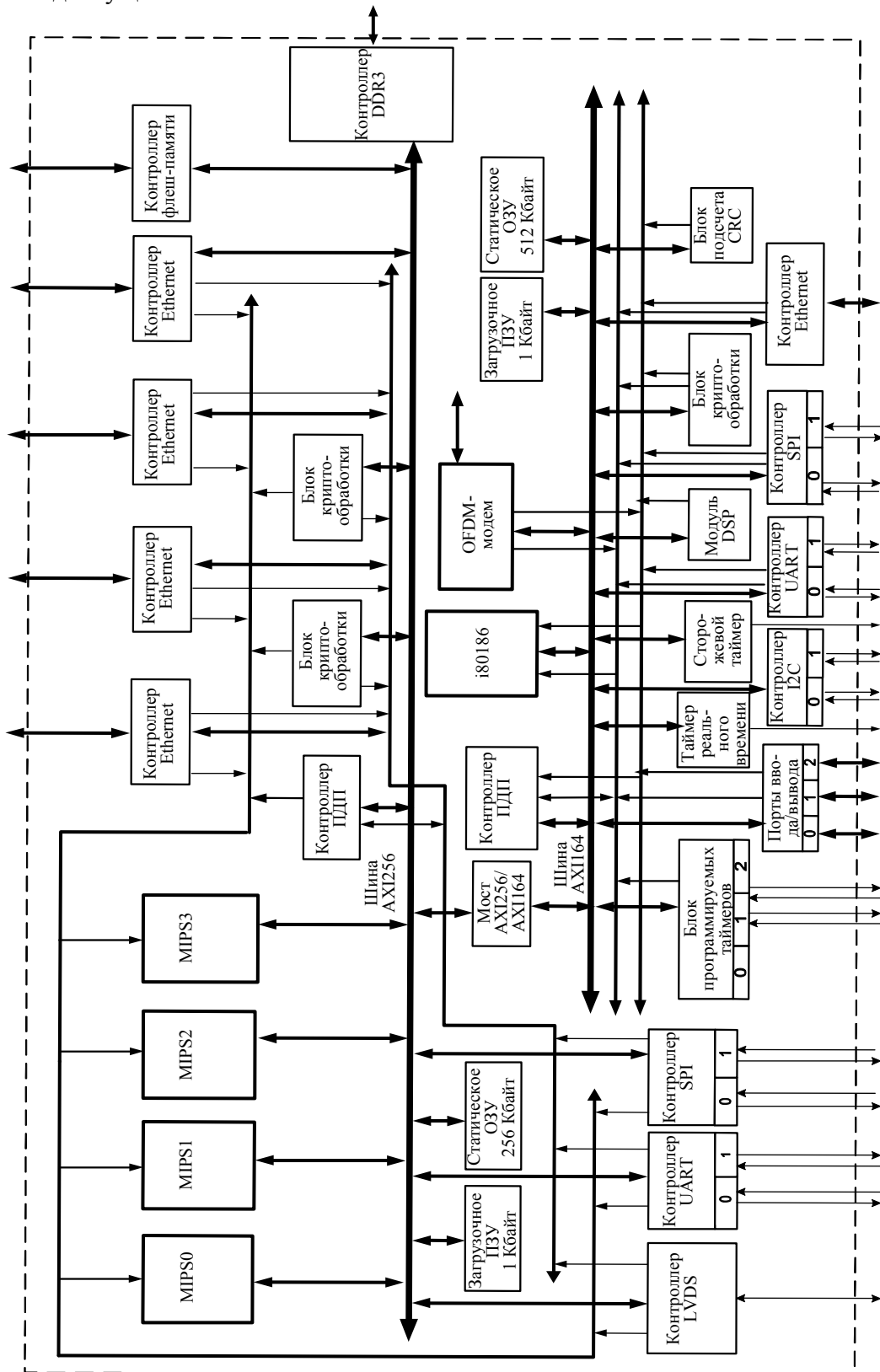


Рис. 1

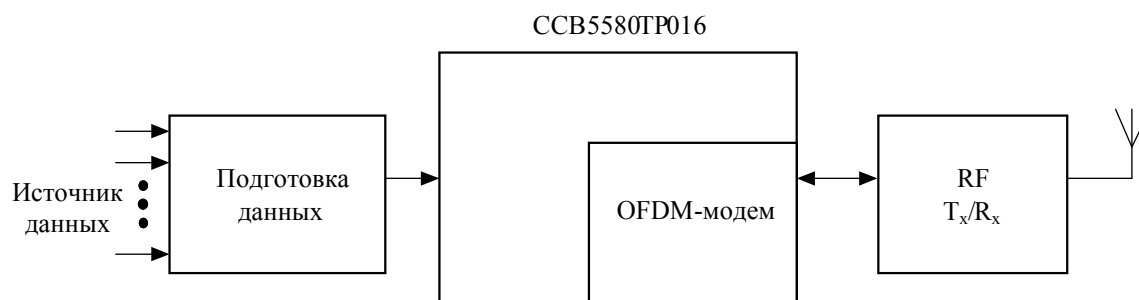


Рис. 2

Как показывают полученные результаты, разработанное решение представляет собой гибкий конфигурируемый инструмент для формирования и обработки широкополосных OFDM-сигналов, для помехоустойчивого кодирования и перемежения, что позволяет строить на его основе современные цифровые модемы для высокоскоростных защищенных гидрометеорологических станций.

По мнению авторов, цифровые модемы, основанные на СнК 5580ТР016, могут быть применены при создании перспективной, а также модернизации существующей аппаратуры, в том числе автоматических гидрометеорологических информационно-измерительных систем.

Использование отечественной СнК позволит не только обеспечить высокие эксплуатационные характеристики, но и снизить зависимость от поставок иностранной ЭКБ, что соответствует базовым положениям программы импортозамещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипкин В. Я., Архипкин А. В., Большаков В. А., Векшина Т. В. Аппаратура защищенной передачи данных // Региональная информатика и информационная безопасность: Сб. трудов. СПб: СПОИСУ, 2019. Вып. 7. С. 385.
2. Векшина Т. В. Микропроцессорные устройства в гидрометрии // Перспективы развития науки и образования: Сб. науч. трудов; По материалам XXVII Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. А. В. Туголукова. М.: ИП Туголуков А. В., 2018. С. 234.
3. Векшина Т. В. Количественная оценка пропускной способности русла на основе современных информационных систем и технологий // Евразийское научное объединение. 2019. № 4—6 (50). С. 407—409.
4. Большаков В. А., Архипкин В. Я., Векшина Т. В. Метеорологическая автоматическая информационно-измерительная система // Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. „Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации“, Санкт-Петербург, Россия, 14—15 марта 2019. СПб: РГГМУ, 2019. С. 438—439.
5. Варгаузин В. А., Цикин И. А. Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи. СПб: БХВ-Петербург, 2013. С. 299—305.
6. Большаков В. А., Векшина Т. В., Губкин А. Е., Перминова Н. А., Рычихин Д. А., Солодовников Е. В. Морская гидрометеорологическая информационно-измерительная система // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2019. № 1 (33). С. 115—116.
7. Бойков К. Б., Большаков В. А., Миклуш В. А. Микроконтроллеры и их применение в гидрологических и гидрофизических информационно-измерительных системах // Ученые записки РГГМУ. 2009. № 9. С. 113—124.
8. Зезюлин В. В. Отечественная программно-аппаратная платформа — основа технологической независимости функционирования критической информационной инфраструктуры // Сб. тезисов 6-й Междунар. науч. конф. „Электронная компонентная база и микроэлектронные модули“, Ялта, Россия. 28 сент.—03 окт. 2020. Наноиндустрия. Спецвыпуск. 2020. Т. 13 (99). С. 108.
9. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи. М.: Техносфера, 2006.
10. Мэррит М., Поллино Д. Безопасность беспроводных сетей: Пер. с англ. М.: АйТи Пресс, 2004. С. 161—174.
11. Технология OFDM: Учеб. пособие / М. Г. Бакулин, В. Б. Крейнделин, А. М. Шлома, А. П. Шумов. М.: Горячая линия — Телеком, 2017. 360 с.

12. Санников В. Г. Интеллектуальный модем на основе многочастотной модуляции // Журн. радиоэлектроники (электронный журнал). 2015 [Электронный ресурс]: <<http://jre.cplire.ru/jre/jan 15/10 text.pdf>>.
13. Александров А. В., Ерохин В. В., Архипкин В. Я., Халиков Р. Р., Леохин Ю. Л. Разработка цифровых модемов радиорелейной и тропосферной связи с использованием системы на кристалле 5580TR16 // Сб. тезисов 6-й Междунар. науч. конф. „Электронная компонентная база и микросистемные модули“, Ялта, Россия, 28 сент.—03 окт. 2020. Наноиндустрия. Спецвыпуск. 2020. Т. 13 (99). С. 67—69.

Сведения об авторах

- Владимир Яковлевич Архипкин** — канд. техн. наук, ст. научный сотрудник; ООО „Аккорд“; генеральный директор; E-mail: info@akkordsystems.ru
- Владимир Алексеевич Большаков** — канд. техн. наук, доцент; РГГМУ, кафедра морских информационных систем; E-mail: v.a.bolsh@mail.ru
- Татьяна Викторовна Векшина** — канд. техн. наук; РГГМУ, кафедра водно-технических изысканий; доцент; E-mail: t.v.vekshina@mail.ru
- Михаил Иванович Дябин** — ООО „Каскад“; ведущий инженер; E-mail: dyabin@mail.ru
- Владимир Васильевич Ерохин** — канд. техн. наук, доцент; АО НИИМА „Прогресс“; нач. отдела; E-mail: e.vero2011@yandex.ru

Поступила в редакцию
23.01.2021 г.

Ссылка для цитирования: Архипкин В. Я., Большаков В. А., Векшина Т. В., Дябин М. И., Ерохин В. В. Перспективы применения специализированного связного вычислителя в приборном комплексе автоматической гидрометеорологической станции // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 5. С. 343—350.

**PROSPECTS OF APPLICATION OF A SPECIALIZED COMMUNICATING COMPUTER
IN THE INSTRUMENT COMPLEX OF AUTOMATIC HYDROMETEOROLOGICAL STATION**

**V. Ya. Arkhipkin¹, V. A. Bolshakov², T. V. Vekshina²,
M. I. Dyabin³, V. V. Yerokhin⁴**

¹Accord Ltd, 124498, Moscow, Russia

²Russian State Hydrometeorological University, 192007, St. Petersburg, Russia
E-mail: v.a.bolsh@mail.ru

³Cascade Ltd, 124460, Moscow, Russia

⁴JSC Progress Microelectronic Research Institute, 125183, Moscow, Russia

A new domestic specialized communication computer (systems on a chip) SoC 5580TR016, designed for automatic hydrometeorological stations, is considered. The system perspectives in providing the station basic function - effective collection of measurement information and reliable, secure transmission of it to the consumer - is analyzed. The calculator contains, in addition to the necessary means of the microcontroller, a communication module, the technical characteristics of which meet the requirements for speed, reliability and security of information transmission over a radio communication channel. The communication module of the calculator provides data transmission at high speed in a complex electromagnetic environment in conditions of multipath propagation of signals under the influence of natural and deliberate interference, as well as the adaptability of the communication channel in terms of the information transfer rate, spectral efficiency and output power to the interference environment and operating range. Such combination of measurement control functions and wireless transmission of information to the consumer in one device allows to reduce the time spent on development of automatic hydrometeorological stations, to increase the station reliability and efficiency. The capabilities of the calculator and its high operational characteristics correspond to the basic provisions of the program of import substitution of the elemental component base of electronics with new domestic technical means, including in hydrometeorological information-measuring systems.

Keywords: automatic hydrometeorological station, system on a chip, communication module, noise immunity, information security, adaptability, import substitution

REFERENCES

1. Arkhipkin V.Ya., Arkhipkin A.V., Bol'shakov V.A., Vekshina T.V. *Regional'naya informatika i informatsionnaya bezopasnost'* (Regional Informatics and Information Security), Collection of works, St. Petersburg, 2019, no. 7, pp. 385. (in Russ.)

2. Vekshina T.V. *Perspektivy razvitiya nauki i obrazovaniya* (Prospects for the Development of Science and Education), Collection of scientific papers based on the materials of the XXVII International Scientific and Practical Conference, Moscow, March 30, 2018, pp. 234. (in Russ.)
3. Vekshina T.V. *Eurasian Scientific Association*, 2019, no. 4–6(50), pp. 407–409. (in Russ.)
4. Bol'shakov V.A., Arkhipkin V.Ya., Vekshina T.V. *Sovremennyye problemy gidrometeorologii i ustoychivogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii* (Modern Problems of Hydrometeorology and Sustainable Development of the Russian Federation), Collection of abstracts of the All-Russian Scientific-Practical Conference, March 14–15, 2019, St. Petersburg, 2019, pp. 438–439. (in Russ.)
5. Vargauzin V.A., Tsikin I.A. *Metody povysheniya energeticheskoy i spektral'noy effektivnosti tsifrovoy radiosvyazi* (Methods for Increasing the Energy and Spectral Efficiency of Digital Radio Communications), St. Petersburg, 2013, pp. 299–305. (in Russ.)
6. Bolshakov V.A., Vekshina T.V., Gubkin A.E., Perminova N.A., Rychikhin D.A., Solodovnikov E.V. *Informatsionnyye tekhnologii i sistemy: upravleniye, ekonomika, transport, pravo*, 2019, no. 1(33), pp. 115–116. (in Russ.)
7. Boykov K.B., Bol'shakov V.A., Miklush V.A. *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*, 2009, no. 9, pp. 113–124. (in Russ.)
8. Zezyulin V.V. *Elektronnaya komponentnaya baza i mikroelektronnyye moduli* (Electronic Component Base and Microelectronic Modules), Collection of abstracts of the 6th International Scientific Conference, September 28–October 03, 2020, Republic of Crimea, Yalta, Russia, Special issue of the scientific and technical journal *Nanoindustry*, 2020, pp. 108. (in Russ.)
9. Shakhnovich I.V. *Sovremennyye tekhnologii besprovodnoy svyazi* (Modern Wireless Technologies), Moscow, 2006. (in Russ.)
10. Maxim M. & Pollino D. *Wireless Security*, McGraw-Hill, 2002.
11. Bakulin M.G., Kreyndelin V.B., Shloma A.M., Shumov A.P. *Tekhnologiya OFDM* (OFDM technology), Moscow, 2017, 360 p. (in Russ.)
12. <http://jre.cplire.ru/jre/jan/15/10/text.pdf>. (in Russ.)
13. Aleksandrov A.V., Erokhin V.V., Arkhipkin V.Ya., Khalikov R.R., Leokhin Yu.L. *Elektronnaya komponentnaya baza i mikroelektronnyye moduli* (Electronic Component Base and Microelectronic Modules), Collection of abstracts of the 6th International Scientific Conference, September 28–October 03, 2020, Republic of Crimea, Yalta, Russia, Special issue of the scientific and technical journal *Nanoindustry*, 2020, pp. 67–69. (in Russ.)

Data on authors

- | | |
|-------------------------------|---|
| Vladimir Ya. Arkhipkin | — PhD, Senior Scientist; Accord Ltd; General Director;
E-mail: info@akkordsystems.ru |
| Vladimir A. Bolshakov | — PhD, Associate Professor; Russian State Hydrometeorological University, Department of Marine Information Systems;
E-mail: v.a.bolsh@mail.ru |
| Tatiana V. Vekshina | — PhD; Russian State Hydrometeorological University, Department of Hydro-Technical Research; Associate Professor;
E-mail: t.v.vekshina@mail.ru |
| Michail I. Dyabin | — Cascade Ltd; Leading Engineer; E-mail: dyabin@mail.ru |
| Vladimir V. Yerokhin | — PhD, Associate Professor; JSC Progress Microelectronic Research Institute; E-mail: e.vero2011@yandex.ru |

For citation: Arkhipkin V. Ya., Bolshakov V. A., Vekshina T. V., Dyabin M. I., Yerokhin V. V. Prospects of application of a specialized communicating computer in the instrument complex of automatic hydrometeorological station. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 5. P. 343–350 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-5-343-350