



А.В. Глухов, В.А. Прилипко, В.Е. Красовский
РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
В ПАО «ИНЭУМ им. И.С. БРУКА» НА БАЗЕ
РОССИЙСКИХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Аннотация

Рассматриваются новые технические и программные средства, разработанные в ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука» на отечественной элементной базе, такие как промышленные компьютеры (ПК), программируемые логические контроллеры (ПЛК), средства программирования на языках стандарта МЭК 61131-3, управляющие вычислительные комплексы (УВК), автоматизированные рабочие места (АРМ) и серверы. Эти разработки делают серьезный шаг в направлении импортозамещения в области электроники для АСУТП.

Ключевые слова: электроника для АСУТП, промышленная автоматизация, программируемый логический контроллер, промышленный компьютер, микропроцессор «Эльбрус», управляющий вычислительный комплекс СМ1820.

Введение

ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука» на протяжении нескольких десятков лет занимается разработкой управляющих вычислительных комплексов (УВК) [1]. В настоящее время вектор развития выпускаемой продукции направлен на максимально возможное применение отечественной элементной базы и внедрение такой техники на рынок промышленной автоматизации [2].

За несколько последних лет в ИНЭУМ выполнен ряд ОКР, в рамках которых освоены базовые технологии по производству различных управляющих вычислительных комплексов на базе отечественных микропроцессоров «Эльбрус» и «SPARC». Помимо разработки вычислительных модулей, составляющих вычислительное ядро любой системы, разработаны, выпускаются и совершенствуются и модули ввода/вывода, обеспечивающие непосредственную связь вычислительного ядра с объектами контроля и управления, т. е. с датчиками и исполнительными механизмами, установленными на объектах, а также набор коммуникационных модулей, обеспечивающих связь с другими системами и интеллектуальными датчиками по цифровым телекоммуникационным интерфейсам.

В линейке выпускаемой продукции присутствуют высокопроизводительные серверы, вычислительные комплексы для применения в ка-

честве автоматизированных рабочих мест, встраиваемая электроника для бортового и общепромышленного применения, отвечающая всем требованиям к такой продукции по климатическим и прочим параметрам эксплуатации. Для построения системы верхнего уровня (серверов и АРМ оператора), выпускаемых институтом многие годы для нужд атомной промышленности, разработаны машины с применением новых высокопроизводительных микропроцессоров «Эльбрус-8С».

Линейка выпускаемой продукции непрерывно совершенствуется и расширяется. В настоящее время в разработке находится ряд устройств, призванных заменить на отечественном рынке широко применяемую импортную технику.

Существующая на сегодняшний день линейка отечественных микропроцессоров подходит для построения всех компонентов многоуровневой системы управления: серверов, рабочих мест оператора, УВК, ПЛК, систем удаленного ввода/вывода. Операционная система жесткого реального времени также является неотъемлемой частью любой системы управления, а наличие аппаратных и программных средств, обеспечивающих информационную безопасность, на сегодняшний день выходит на первый план не только в системах АСУТП, но и вообще в любой сфере применения IT.

Рассмотрев характеристики современных процессоров «Эльбрус» (а именно микропроцессоров «Эльбрус-1С+» и «Эльбрус-8С», контроллера периферийных интерфейсов КПИ-2), а также ознакомившись с их архитектурой [3] и созданным за последние годы окружением этих процессоров в виде операционной системы жесткого реального времени ОС «Эльбрус», обладающей высокой степенью надежности в области информационной безопасности, можно сделать вывод об их полной пригодности для применения в системах АСУТП. Стоит особенно обратить внимание на значительное снижение энергопотребления микропроцессора «Эльбрус-1С+» по сравнению с предшественниками, что позволяет рассчитывать на положительные результаты при проектировании вычислительных комплексов с кондуктивным охлаждением. А новый КПИ-2 дает возможность получить необходимый набор внешних интерфейсов, обеспечивающий современный уровень интеграции во внешние системы.

На данный момент в ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука» разрабатывается или уже серийно выпускается ряд технических комплексов [4].

В перечень продукции входят такие изделия, как:

- защищенный промышленный компьютер на базе микропроцессора «Эльбрус-1С+» (ПК-2);
- промышленный компьютер на базе микропроцессора «Эльбрус-1С+» (ПК-3);
- программируемый логический контроллер (ПЛК) с набором модулей ввода/вывода (УСО) на базе микропроцессора «Эльбрус-1С+»;
- блок преобразования интерфейсов БПИ-3 на базе модуля «ComExpress» с процессором «Эльбрус-1С+»;
- УВК (сервер) СМ1820МВУ-118 на базе микропроцессора «Эльбрус-8С»;
- автоматизированное рабочее место оператора СМ1820МВУ-116 на базе микропроцессора «Эльбрус-8С».

Рассмотрим перечень разрабатываемой продукции более подробно.

Защищенный промышленный компьютер ПК-2

Защищенный промышленный компьютер для тяжелых условий эксплуатации на базе микропроцессора «Эльбрус-1С+» представлен на рис. 1. Отличительной особенностью изделия является то, что все элементы на печатной плате вы-

полнены методом поверхностного монтажа, без применения разъемов. Печатная плата убрана в герметичный защищенный корпус. На корпус смонтированы герметичные разъемы. Такое решение позволяет применять изделия в местах с тяжелыми условиями эксплуатации, монтировать в условиях агрессивной внешней среды, применять на открытом воздухе и т. д.



Рис. 1. Защищенный промышленный компьютер ПК-2

ПК-2 имеет следующие характеристики:

- микропроцессор – «Эльбрус-1С+»;
- количество микропроцессоров – 1;
- оперативная память – до 8 Гбайт DDR3 ECC (двухканальная);
- flash-накопитель – 8...16 Гбайт (паяный) + mSATA;
- Ethernet – 3 × 10/100/1000 Мбит/с;
- RS-232 – 2 канала;
- RS-485/RS-422 – 2 канала с гальванической изоляцией;
- USB2.0 – 2 канала;
- видео – 2 × HDMI;
- дополнительные интерфейсы – SATA;
- RTC – да;
- индикация – 2 светодиода;
- внешние каналы GPIO – 4 шт.;
- сторожевой таймер – да;
- напряжение питания – 12 В DC;
- потребляемая мощность – не более 30 Вт;
- охлаждение – без вентиляторов;
- рабочий диапазон температур – от –40 до +50 °С;
- степень защиты – IP-65;
- стойкость к синусоидальной вибрации – 1...200 Гц, 1g;
- опытные образцы – конец 2017 года.

Промышленный компьютер на базе «Эльбрус-1С+» ПК-3

Промышленный компьютер на базе микропроцессора «Эльбрус-1С+» ПК-3 является облег-

ченной версией защищенного промышленного компьютера. Оба изделия имеют в своем составе одну и ту же печатную плату, но отличаются исполнением и, как следствие, составом внешних интерфейсов. На *рис. 2* представлен прототип изделия. ПК-3 выполняется в легком алюминиевом корпусе, не имеет в своем составе вентиляторов и предназначен для применения в расширенном температурном диапазоне. Облегченный корпус не подразумевает воздействия влажных сред и уличной установки, однако наличие стандартных разъемов на корпусе позволяет легко интегрировать вычислительную машину в систему АСУТП. Изделие подойдет для применения в качестве бесшумных АРМ оператора, организации вычислений в составе стоек и шкафов и т. д.

Технические характеристики ПК-3:

- микропроцессор – «Эльбрус-1С+»;
- количество микропроцессоров – 1;
- оперативная память – до 8 Гбайт DDR3 ECC (2 канала, паяная);
- flash-накопитель – 8...16 Гбайт (паяный) + mSATA;
- звук – AC97;
- Ethernet – 3 × 10/100/1000 Мбит/с IEEE-1588;
- RS-232 – 2 канала;
- RS-485/RS-422 – 2 канала с гальванической изоляцией;
- USB2.0 – 6 каналов;
- видео – 2 × HDMI;

- дополнительные интерфейсы – SATA, PCI-104, 2-канальный LVDS;
- индикация – 4 светодиода;
- внешние каналы GPIO – 8 шт. TTL с защитой;
- сторожевой таймер – да;
- напряжение питания – 12 В DC;
- потребляемая мощность – не более 30 Вт;
- охлаждение – без вентиляторов;
- рабочий диапазон температур – от –40 до +50 °С;
- степень защиты – IP-20;
- стойкость к синусоидальной вибрации – 5...500 Гц, 1g;
- опытные образцы – начало 2018 года.

Программируемый логический контроллер «ПЛК-Эльбрус»

Разрабатываемый ПЛК имеет модульную структуру с жестким монтажным каркасом и объединительной платой, реализующей системный интерфейс, и предназначен для работы в режиме дублирования процессорных модулей. Процессорные модули разрабатываются на базе отечественного микропроцессора «Эльбрус-1С+» и будут работать под управлением ОСРВ «Эльбрус». Поддержка программирования контроллеров на языках стандарта IEC 61131-3 будет выполнена на базе САПР Veremiz, а также с помощью SCADA-системы «MasterSCADA-4D». 3D-модель ПЛК представлена на *рис. 3*.

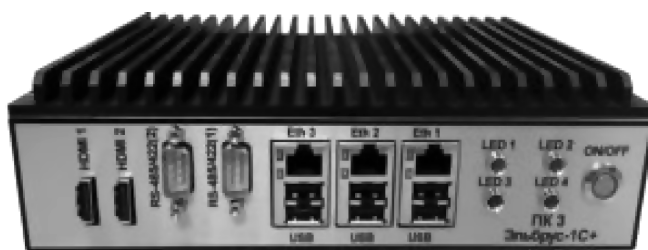


Рис. 2. Внешний вид промышленного компьютера ПК-3

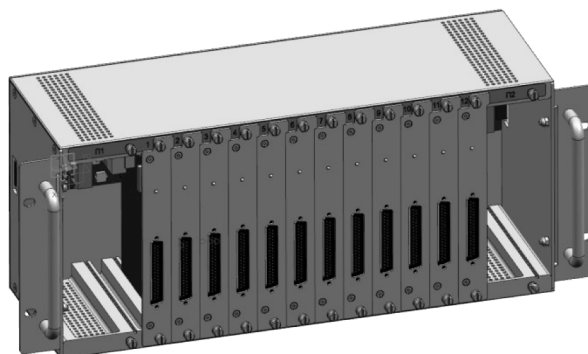


Рис. 3. «ПЛК-Эльбрус»

Режим дублирования процессорных модулей позволяет организовать независимый опрос модулей УСО каждым из процессоров. Полная поддержка режима обеспечивается с помощью САПР Veremiz.

Системный интерфейс и реализующая его объединительная панель поддерживают режим горячей замены модулей УСО и процессорных модулей. Концепцией подразумевается возможность каскадного подключения до четырех дополнительных корзин с модулями без применения в них дополнительных процессорных модулей. Подключение осуществляется через специальный коммуникационный модуль.

Системный интерфейс, в зависимости от варианта заказа, реализуется последовательной системной шиной со скоростью передачи данных до 16 Мбит/с, а также, опционально, быстрой системной шиной, включающей в себя интерфейсы USB и PCI-E x1. Быстрая шина при этом не поддерживается режимом дублирования процессоров и может быть использована только в однопроцессорных конфигурациях.

Модуль процессора на базе «Эльбрус-1С+» имеет следующие характеристики:

- микропроцессор – 1891ВМ11Я;
- количество микропроцессоров – 1;
- емкость оперативной памяти – не менее 1 Гбайт;
- flash-накопитель – емкостью не менее 8 Гбайт, выполненный по технологии поверхностного монтажа;
- интерфейс Ethernet – не менее 3 каналов 10/100/1000 Мбит/с;
- интерфейс RS-232 – не менее 1 канала;
- интерфейс RS-485 – не менее 2 каналов с гальванической изоляцией, прочность изоляции не менее 500 В в течение 1 мин;
- интерфейс USB 2.0 – не менее 1 канала;
- интерфейс HDMI – не менее 1 канала;
- аудио – линейный вход/выход;
- разъем для съемного диска cFAST (возможно);

- аппаратный ключ для управления прикладным ПО (запуск/остановка);
- внешние дискретные входы с возможностью формирования прерываний – не менее двух с гальванической изоляцией, прочность изоляции не менее 500 В в течение 1 мин;
- визуальная индикация – светодиоды красного, желтого и зеленого цвета свечения, управляемые программно, всего 4 шт.;
- возможность совместной работы двух процессорных модулей в режиме резервирования;
- потребляемая мощность – не более 40 Вт.

ПЛК оснащается необходимым набором модулей УСО (дискретного и аналогового ввода/вывода). Все модули УСО имеют в своем составе микроконтроллер. В разработке применяются только отечественные микроконтроллеры «Миландр», не уступающие по характеристикам зарубежным аналогам. Все модули УСО выполняются с поддержкой функции горячей замены и автоопределения на шине.

Блок преобразования интерфейсов БПИ-2.3

Блок преобразования интерфейсов БПИ-2.3 является сервером последовательных портов и предназначен для упрощения подключения оборудования с интерфейсом RS-485/422 к общей локальной сети или к сети Интернет. Устройство поддерживает систему программирования на технологических языках стандарта IEC-61131-3 Veremiz, что позволяет использовать его в качестве преобразователя протоколов и вычислительного ядра системы с большим набором источников данных на интерфейсе RS-485. Поддержаны промышленные протоколы ModBus-RTU/TCP, SMRS, SMTCP, OPC-UA.

Обширный круг выполняемых задач обусловлен применением высокопроизводительного микропроцессора «Эльбрус-1С+» в составе модуля «ComExpress-Туре 6», являющегося процессорным ядром устройства. Устройство работает под управлением ОС «Эльбрус» (рис. 4).



Рис. 4. Блок преобразования интерфейсов БПИ-2.3

Управляющий вычислительный комплекс СМ1820МВУ-118

УВК СМ1820МВУ-118 выполнен на базе отечественного микропроцессора «Эльбрус-8С» и работает под управлением ОСРВ «Эльбрус» (рис. 5). Материнская плата вычислительного блока разработана и произведена в ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука». Возможны варианты поставки с однопроцессорным, двухпроцессорным и четырехпроцессорным вычислительными блоками. В качестве коммуникационного сервера для получения достаточного количества интерфейсов RS-485 в машине применено устройство БПИ.



Рис. 5. УВК СМ1820МВУ-118

УВК выполняет следующие основные функции:

- сбор и обработку информации, поступающей по локальным сетям от комплексов нижнего уровня, выносных контрольных пунктов и других устройств, а также передачу им данных, определяемых прикладными программами систем;
- хранение принятой информации на устройствах долговременного хранения с применением RAID-массивов;
- прием и передачу информации по трем независимым физическим типам линий связи: стандарта Fast Ethernet спецификации 100BASE-TX (витая пара), спецификации 100BASE-FX (оптоволокно), стандарта интерфейса RS-485;
- работу под управлением операционных систем «Эльбрус» (Linux), QNX;
- взаимодействие с эксплуатирующим персоналом с помощью устройств ввода (клавиатура, тачпад) и вывода (монитор).

УВК может использоваться в системах, важных для безопасности АЭС в условиях нормальной эксплуатации, класс ЗН по НП-001-97 (ОПБ-88/97). Категория сейсмостойкости УВК – II по НП-031-01. По устойчивости к электромагнитным помехам УВК относится к группе исполнения III по ГОСТ Р 50746–2000 для электромагнитной обстановки средней жесткости. Критерий качества функционирования – А.

Автоматизированное рабочее место оператора СМ1820МВУ-116

УВК СМ1820МВУ-116.06 предназначен для применения в качестве АРМ оператора. Построен на базе двух вычислительных блоков с использованием материнской платы с микропроцессором «Эльбрус-8С».

УВК имеет повышенную прочность конструкции, защиту от электрических помех в сети электропитания. Предназначен для работы в узлах автоматизированных систем управления, в том числе на атомных электростанциях, в системах, важных для безопасности АЭС, класс ЗН по ПНАЭ Г-01-011-97. Обеспечивает сбор и обработку информации, поступающей по локальным сетям от управляющих измерительно-вычислительных комплексов нижнего уровня, выносных контрольных пунктов и других устройств, а также передачу им данных, определяемых прикладными программами систем.

УВК представляет собой дублированное трехмониторное рабочее место (рис. 6), состоящее из двух комплектов (вычислительный блок, коммуникационное оборудование, мониторы, клавиатура, система питания). Коммуникационные средства УВК обеспечивают обмен информацией по 32 каналам стандарта Ethernet 10/100/1000 и 8 каналам стандарта Ethernet 10/100Base-FX.



Рис. 6. УВК СМ1820МВУ-116

Программное обеспечение

ПЛК, а также промышленные контроллеры и шлюзы данных могут быть запрограммированы средствами САПР Veremiz на технологических языках стандарта IEC-61131-3, а также средствами отечественного программного пакета «MasterSCADA 4D». Эти два программных пакета образуют необходимый набор инструментальных средств для проектирования и отладки современных автоматизированных систем управления технологическими процессами, включая проектирование пользовательских интерфейсов, архивов и др.

САПР Veremiz является продуктом ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука», разработанным на основе свободно распространяемого продукта Veremiz. Продукт значительно дополнен набором промышленных коммуникационных протоколов передачи данных. Реализованы асинхронные библиотеки для протоколов Modbus RTU/TCP и поддержка протокола OPC-UA, ведутся работы по поддержке протоколов МЭК 61850. Реализованы собственные протоколы передачи данных. Также в САПР Veremiz разрабатывается программная поддержка дублированного режима работы ПЛК на базе микропроцессора «Эльбрус».

Важным фактором является программная поддержка защищенного режима работы программного обеспечения в генерируемом коде и библиотеках при применении целевой платформы «Эльбрус». Его суть заключается в том, чтобы гарантировать работу программы только с инициализированными данными, проверять все обращения в память на принадлежность к допустимому диапазону адресов, обеспечивать межмодульную защиту (например защищать вызывающую программу от ошибки в библиотеке). Все эти проверки осуществляются аппаратно [5].

Разработка специальных компонентов прикладного и системного программного обеспечения позволяет полностью реализовать заложенные на аппаратном уровне возможности по организации отказоустойчивости за счет применения мажоритарных схем, что существенно расширяет сферу применения изделий в области промышленной автоматизации и позволяет использовать их на объектах с требованиями непрерывной многолетней работы системы, таких как нефтехимическая промышленность.

Заключение

Разрабатываемый в ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука» комплекс технических и программных средств на базе отечественных микропроцессоров «Эльбрус», а также на базе микроконтроллеров «Миландр», представляет собой функционально полный набор микропроцессорных средств автоматизации, который может быть применен в различных областях промышленности, таких как атомная энергетика, транспорт, нефтехимическая промышленность и др. Техническими решениями предусматривается множество требований по отказоустойчивости, принципам работы и информационной безопасности, что позволяет применять изделия на самых ответственных участках промышленной автоматизации.

Разработкой занимается коллектив, имеющий многолетний опыт в создании таких систем. Однако впервые за последние 30 лет подобный программно-технический комплекс для АСУТП создается со столь высокой степенью применения отечественной электронно-компонентной базы и программного обеспечения.

Список литературы:

1. Прохоров Н.Л., Егоров Г.А., Красовский В.Е. и др. Управляющие вычислительные комплексы для промышленной автоматизации / Под ред. Н.Л. Прохорова, В.В. Сюзева. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 374 с.
2. Глухов А.В., Прилипко В.А. Перспективные разработки управляющей вычислительной техники на отечественной элементной базе // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 2. С. 136-143.
3. Сайт АО «МЦСТ» / <http://www.mcst.ru>.
4. ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука». Комплексы SM1820 / <http://www.sm1820.ru>.
5. Русяев Р.М., Нейман-заде М.И., Ермолицкий А.В., Волконский В.Ю. Программно-аппаратные средства выявления ошибок обращения к памяти для архитектуры «Эльбрус» // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 3. С. 33-38.

Антон Викторович Глухов,

канд. техн. наук, начальник отдела,

Виктор Александрович Прилипко,

канд. техн. наук, начальник отдела,

Виктор Евгеньевич Красовский,

канд. техн. наук, профессор, ученый секретарь,

ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука», г. Москва,

e-mail: glukhov_a@ineum.ru