

Раздел 1. Введение в проектирование и реализацию компьютерных систем автоматизации

Тема 1.1. Становление и развитие компьютерных систем автоматизации

Современные компьютерные системы задействованы как в автоматизации технологических процессов (АСУТП), так и в автоматизации управления всем комплексом предприятия (АСУП или так называемое компьютерно-интегрированное производство). Однако процесс становления и развития данных систем был сложным и длительным.

Компьютерные системы автоматизации (КСА) – информационно объединенная совокупность программируемых устройств автоматизированного и автоматического контроля, регулирования и управления, выполненные на основе средств вычислительной техники.

На первом этапе развития автоматизации (до 60-х годов) непрерывных и дискретных производств применялись механические регуляторы и толкатели, работа которых была наглядна для обслуживающего персонала. Затем для непрерывных процессов стали использовать функциональные блоки на радиолампах, управляющие аналоговыми регуляторами, а для дискретных процессов – релейно-контактные переключательные схемы. Это были децентрализованные системы, предназначенные для одноконтурного регулирования и логического управления.

Входы переключателей были жестко связаны с выходами и малейшие изменения в алгоритме работы требовали переделки всей системы. То же касается и аналоговых регуляторов. Такие системы создавались под конкретные объекты управления и не могли быть портируемы (переносимы). При изменении объекта приходилось менять приспособленную для него систему управления вместо модернизации или замены отдельных элементов. Все это увеличивало затраты и сроки на разработку и изготовление, а также затраты на саму аппаратуру, щиты управления и линии связи.

На втором этапе автоматизированные системы управления строят на базе управляющих вычислительных комплексов (УВК) на базе ЭВМ. Первые ЭВМ были аналоговыми. Первой аналоговой ЭВМ можно считать компьютер RW300, построенный на электронных лампах в 1959 году. RW300 следил за расходом, температурой, давлением и концентрацией на нефтеперегонном производстве компании "Техасо" в городе Порт-Артур, а также рассчитывал необходимые управляющие воздействия на основе обработки входной информации и затем либо самостоятельно изменял опорные значения для аналоговых регуляторов, либо указывал оператору, какие управляющие воздействия нужно выполнить вручную. КСА, построенная на той модели ЭВМ по сравнению с современными компьютерами имела очень скромные возможности: время сложения составляло 1 мс, а умножения – около 20 мс. Кроме того, она имела очень невысокую надежность – среднее время между отказами в лучшем случае составляло от нескольких часов до нескольких дней. Несмотря на простоту системы, ее внедрение обошлось практически в миллион долларов.

Как видно, низкая надежность элементной базы и высокая стоимость элементов чуть было не поставили крест на развитии КСА, однако заметным толчком стало применение в 60-х годах транзистора (изобретен 23 декабря 1947 года), а также интегральных схем (изобретены в 1961) – совокупности цифровых и аналоговых микросхем, размещенных на одной печатной плате. Стоимость единицы вычислительной мощности компьютера на транзисторной элементной базе с использованием МИС и СИС (малые и средние интегральные схемы до 100 и до 1000 элементов соответственно) была на порядок меньше, чем у ламповых ЭВМ (хотя все еще превышала 100 000 долларов), а быстродействие и надежность значительно выросли. Кроме того, меньшие размеры

транзисторов по сравнению с лампами и интеграция элементов на плате позволили создавать компьютеры меньших размеров, которые благодаря своей более низкой стоимости могли быть внедрены в значительно более широкий круг производств, чем их ламповые аналоги. Но главное, что теперь эти компьютеры были **цифровыми**.

Важный шаг был сделан в 1962 году, когда английская компания ICI (Imperial Chemical Industries) представила концепцию прямого цифрового управления. Идея заключалась в замене нескольких аналоговых контуров управления центральным компьютером. Огромная и дорогостоящая панель управления с сотнями аналоговых регуляторов и самописцев заменялась несколькими терминалами. Компьютер численно моделировал аналоговые регуляторы способом, который мало отличался от сегодняшних решений.

Благодаря сделанным ранее достижениям, а также растущей степени интеграции элементов на плате (появлении БИС и СБИС – до 100 тыс. и 1 млн. элементов, рис. 1), в 1964 простые ориентированные на конкретный процесс компьютерные системы автоматизации трансформировались в универсальные электронно-вычислительные машины (ЭВМ, также называемыми **мейнфреймами** (рис. 2)), что стало пиком второго этапа компьютерной автоматизации. В СССР в 70-е применялись аналоги мейнфреймов IBM (ЕС ЭВМ) и клоны миникомпьютеров фирмы DEC (СМ ЭВМ) типов БЭСМ 6, СМ 2, ЕС, М-6000 с программами управления объектом в режиме реального времени. Системы управления на этих этапах имели централизованную структуру (поэтому собственно эти ЭВМ и называли mainframe – основная структура), значительные для того времени вычислительные мощности, объем оперативной и внешней памяти, но главное – в основу их работы была положена программа, позволяющая переконфигурировать ЭВМ под любой процесс, которым требовалось управлять.

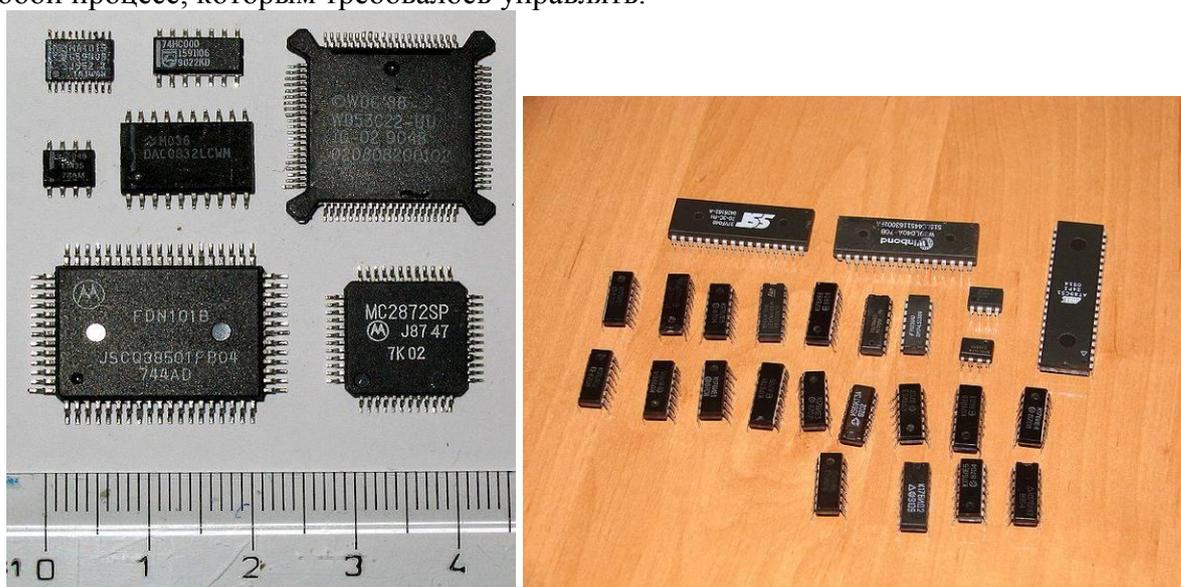


Рис. 1 – Современные микрочипы (ИС в корпусе для поверхностного монтажа)



Рис. 2 – Мейнфреймы IBM S360 (1964 г.) и Z9 2094 (2007 г.)

Программа управления ЭВМ записывалась в программоноситель. Основными программносителями того времени перфокарты и перфоленты. При попадании на фотоприемники света через отверстия в перфокарте, пробитые согласно программе управления, формировались команды переключения исполнительных устройств. Одновременно развивались перфоленты, имеющие меньшие габариты и более высокую емкость (рис. 3).

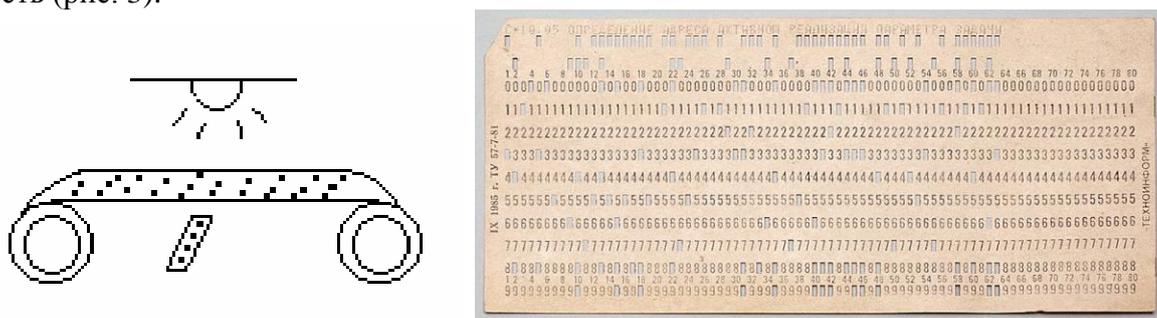


Рис. 3 – Принцип действия перфоленты и внешний вид перфокарты

Именно на таких ЭВМ до 80-х годов строили системы управления сложными объектами, такими как атомная электростанция, металлургическое производство, химический реактор. Множество датчиков и исполнительных механизмов через многочисленные кабели подключалось к центральной ЭВМ, которая собирала и обрабатывала сигналы датчиков, представляла информацию диспетчеру, накапливала информацию о ходе процесса для расчета технико-экономических показателей и составления отчета. Естественно, что мейнфреймы в силу своих размеров, сложности и высокой стоимости использовались для управления крупными производствами, где требовалась обработка больших массивов данных (как и первые ламповые компьютеры), однако, как уже упоминалось выше, они могли перепрограммироваться в случае изменения параметров процесса без изменения аппаратной составляющей и не были привязаны к конкретному процессу. Надежность мейнфреймов того времени в силу роста числа и сложности элементов, а также ошибок программного обеспечения оставляла желать лучшего, поэтому несмотря на наличие функций локального регулирования с помощью реле и аналоговых регуляторов, главенствующие функции управления объектом поручались диспетчеру.

Прогресс не стоял на месте и концепция централизованного управления одной мощной ЭВМ уступила место концепции распределенного управления (PCU или DCS – Distributed Control System). Вызвано это было целым рядом причин: невозможностью бесконечного наращивания мощности ЭВМ для сложных процессов, сложностью изменения программ в виду их взаимного влияния на весь процесс, вопросами надежности

(аппаратное резервирование узлов самой ЭВМ не решало все проблемы, например, надежность каналов передачи данных), огромными протяженностями и числом кабельных линий и т.д. (отличия РСУ от мейнфрейм - архитектуры рассматриваются далее).

Но главным толчком к смене архитектур КСА стали успехи в микроэлектронике, а именно – появление **микропроцессоров** в 70-х годах, что революционизировало в начале 80-х годов технику построения систем управления и открыло третий этап компьютеризации промышленного производства. Микропроцессоры (рис. 4) стали входить в состав отдельных средств автоматики и управления.

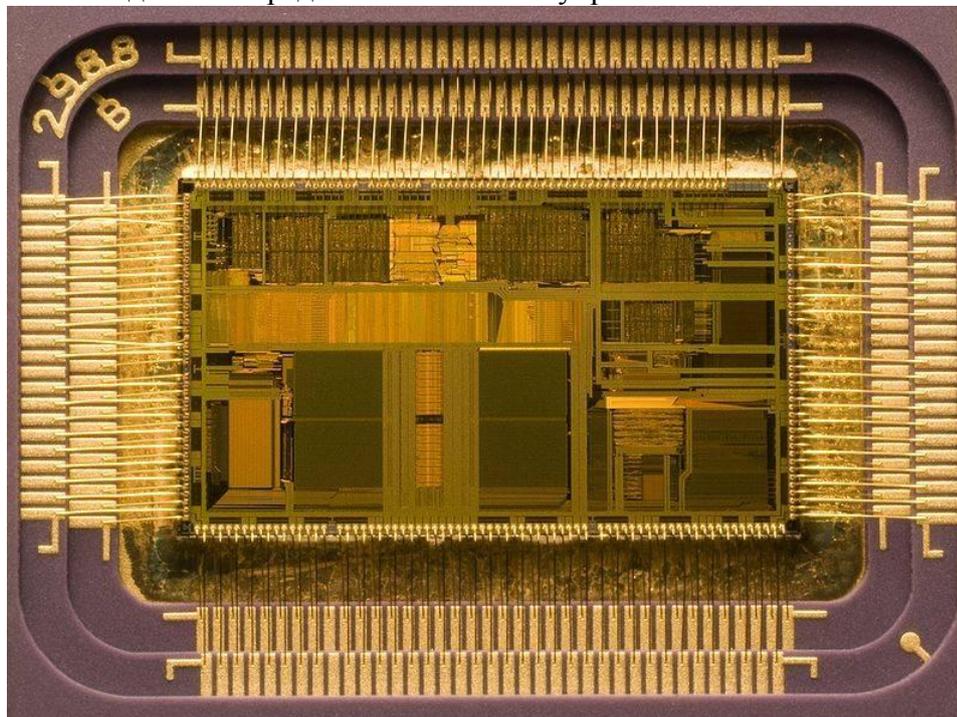


Рис 4 - Микропроцессор

Появление микропроцессоров устройств на их основе принципиально изменило подходы к автоматизации производства. Созданные под конкретный объект релейно-контактные системы управления и автоматические регуляторы, которые до этого удалось заменить на управление с мейнфреймов лишь в крупных фундаментальных производствах, стали заменять универсальными устройствами с перепрограммируемыми алгоритмами управления и в небольших процессах, т.е. практически повсеместно.

До использования контроллеров аппаратное устройство управления (рис. 5 слева) выполнялось путем жесткого соединения элементов в соответствии с заданным алгоритмом управления. Элементы работали параллельно. При изменении объекта или алгоритма управления приходилось создавать новое устройство управления, поскольку пересоединение элементов требует больших затрат. Это препятствовало модернизации устройств управления и повышению уровня автоматизации.

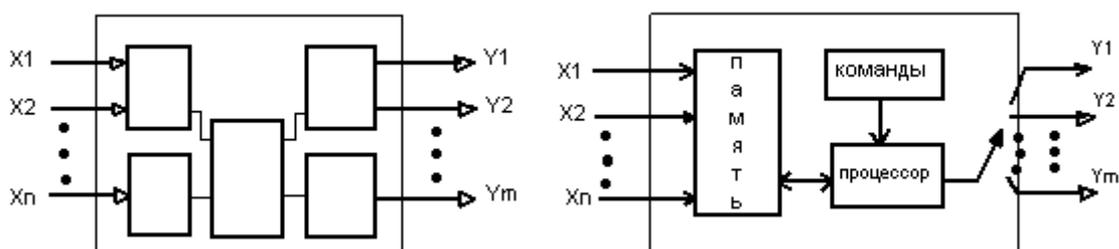


Рис. 5 – Аппаратное и программное управление

В первых ПЛК, пришедших на замену обычным логическим контроллерам, логика соединений программировалась схемой соединений LD (Ladder logic Diagram). Устройство имело тот же принцип работы, что и жесткосвязанные релейно-контактные

системы, но реле и контакты (кроме входных и выходных) были виртуальными, то есть существовали в виде программы, выполняемой микроконтроллером ПЛК.

Микропроцессорное программируемое устройство управления (рис. 5, справа) благодаря своей универсальной структуре из микропроцессора, постоянной и оперативной памяти, устройств ввода/вывода позволяет легко изменить его привязку к конкретному объекту автоматизации путем изменения соответствующей программы управления и записи ее в запоминающее устройство.

Использование микропроцессоров, т.е. устройств, отвечающих за выполнение арифметических, логических операций и операций управления, записанных в машинном коде, реализованных в виде одной микросхемы или комплекта из нескольких специализированных микросхем, позволило создавать **промышленные контроллеры, интеллектуальные датчики, промышленные компьютеры** (рис. 6) и прочие устройства, способные самостоятельно решать определенные задачи локально, а также управлять другими устройствами. Это дало возможность с одной стороны строить простые КСА на основе промышленных контроллеров (частным случаем которых являются ПЛК – программируемые логические контроллеры, первый из которых был MODular DIgital CONtroller (Modicon) 084, произведенный в 1968 году) приближенных к объекту управления, т.е. теперь появилась возможность автоматизировать процессы небольших производств в силу доступности стоимости контроллеров по сравнению с мейнфреймами. Конечно же, контроллеры не обладали производительностью мейнфреймов и не могли обрабатывать большие объемы информации (много датчиков, много исполнительных устройств) по сложным алгоритмам, но и сфера их использования была другой – не целые производства, а отдельный технологический процесс или даже его часть, для решения задач которых контроллеры подходили даже лучше.

В системах управления технологическими объектами логические команды преобладают над числовыми операциями, что позволило при сравнительной простоте микроконтроллера (шины шириной 8 или 16 бит), получить мощные системы действующие в режиме реального времени. В современных ПЛК числовые операции реализуются наравне с логическими.



Рис. 6 – Промышленный компьютер (слева) и промышленный контроллер (справа)

С другой стороны, меньшая производительность и возможность обрабатывать меньше входов и выходов легко компенсировалась объединением нескольких контроллеров с разделением их «обязанностей» по функциональному признаку (например, одни обрабатывали информацию от датчиков, другие архивировали параметры, третьи осуществляли регулирование и управление и т.д.) с наделением одного из устройств (группы устройств) функциями контроля и управления остальными, т.е. фактически реализацией PCSU. Основным средством передачи данных стали цифровые сети вместо устаревших двухпроводных линий.

Разрабатываемые стандарты приводили к унификации физических и электрических параметров оборудования, что способствовало взаимозаменяемости устройств, а также построению открытых систем (понятие открытых систем рассматривается далее). Многие

ведущие мировые производители средств автоматизации начали выпускать наборы программно-аппаратных средств для построения АСУТП. Основными признаками таких наборов является их совместимость, способность функционировать в единой системе, стандартизация интерфейсов, функциональная полнота, позволяющая строить целиком АСУТП из средств только данного набора. Такие наборы средств получили название **программно-технических комплексов (ПТК)**.

Простота конфигурирования, универсальность и растущая функциональность устройств позволяли использовать их во все более широком кругу процессов. Увеличение числа производимого оборудования значительно снизило его стоимость, окончательно решив проблему доступности средств для КСА.

Применение контроллеров расширилось от автономного управления "машина-контроллер" к управлению "система машин – сеть контроллеров", в то время как распределенные системы управления развивались в противоположном направлении: от общей задачи автоматизации производства – к уровню автоматизации отдельного процесса. К 1990 году контроллеры стали соединять с шинами обмена информацией в стандартах RS232 и MAP, к которым подключался персональный компьютер для визуализации процессов на экране диспетчера. С другой стороны, распределенные системы управления имели шины обмена информацией с отображением процесса на экране компьютера. Расширение функций контроллеров вверх и развитие распределенных управляющих систем вниз привели к их объединению и появлению класса SCADA-систем. Появились общие для обеих систем операционные системы, работающие в реальном времени.

Класс систем удаленного диспетчерского контроля и управления (SCADA-систем) позволил заменить аппаратно-привязанные щиты и пульты управления диспетчеров на универсальные мнемосхемы (рис. 7), отображающие ход технологического процесса и его параметры, а также позволяющие осуществлять управление напрямую с графического экрана оператора.

Это окончательно ликвидировало аппаратные привязки управляющих КСА к конкретным процессам.

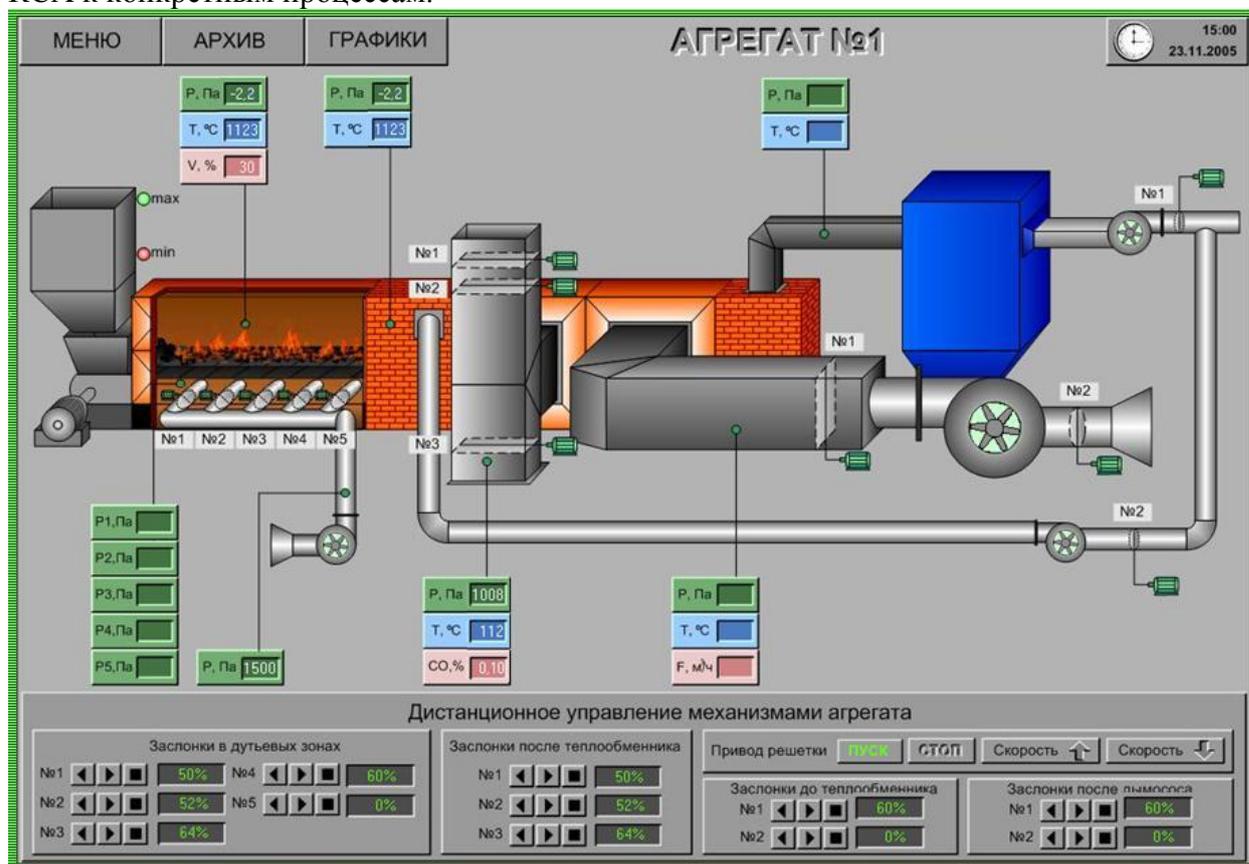


Рис 7 – Экран АРМ оператора SCADA-системы

Одновременно с аппаратной составляющей совершенствовались и программные средства. За долгую историю развития компьютерных систем автоматизации сложные специфичные языки программирования низкого уровня (ассемблеры), а также языки, понятные лишь технологам эволюционировали в универсальные, в т.ч. графические языки программирования. В конечном итоге, любое устройство управления может быть запрограммировано с помощью одного из пяти языков стандарта IEC 61131-3 (IL, ST, FBD, LD, SFC). Процесс поэтапного программирования устройств программаторами сменился на возможность удаленного программирования softlogic-системами.

Широкое применение концепции распределенного управления совместно с развитием клиент-серверных технологий и баз данных привело к слиянию уровней технологического оборудования и управления процессом, уровня операторов и уровня управления предприятием. Каждый уровень управляется своими классами программного и аппаратного обеспечения, однако, управление осуществляется в тесной взаимосвязи с компонентами остальных уровней КСА.

Интеграция уровней позволила использовать технологические параметры для решения стратегических задач уровня управления и привела к созданию классов программных продуктов планирования и управления различными ресурсами (производственными, человеческими, финансовыми и т.д.). Проходящее одновременно со слиянием уровней повсеместное внедрение веб-технологий окончательно стерло пространственные границы. Территориальная независимость и гибкое функциональное разделений стало основой создания концепции Единого информационного пространства (ЕИП) предприятия и Корпоративных информационных систем (КИС).

Таким образом, современные КСА позволяют осуществлять комплексную автоматизацию и управление всем предприятием (и даже группой предприятий) на всех уровнях деятельности: от управления технологическими устройствами до принятия стратегических решений высшим руководством. Основные моменты реализации таких систем описываются в последующих лекциях.

Достоинства компьютерных систем автоматизации

Обобщая вышесказанное, а также описывая свойства КСА, рассматриваемые в последующих лекциях, можно выделить следующие **достоинства КСА**:

- многоточечное управление (управление одним контроллером или компьютером несколькими объектами со сходными свойствами с периодическим подключением, опросом датчиков и выработкой управляющих воздействий);
- модернизируемость и модифицируемость (возможность переконфигурирования системы автоматизации и управления под любой объект автоматизации (с приемлемыми свойствами) заменой управляющей программы без изменения аппаратной части);
- использование одного канала связи для организации взаимодействия с различными объектами и управляющими устройствами;
- высокая помехозащищенность цифрового сигнала при передаче благодаря кодовому представлению информации и возможностью побитового контроля (четность, битстаффинг) и добавления избыточной проверочной информации (циклический избыточный код, хеш-функции);
- высокая точность, вызванная отсутствием погрешностей округления аналоговых сигналов и возможностью наращивания точности добавлением разрядов в цифровой код;
- реализация сложных алгоритмов управления, что возможно только при наличии микропроцессорных устройств;

- возможность функциональной и топологической децентрализации, что упрощает систему и повышает ее надежность (см. темы 1.3 и 1.4);
- возможность резервирования потенциально важных элементов КСА;
- легкая функциональная расширяемость и наращиваемость;
- возможность накопления и постобработки информации с целью создания Единого информационного пространства (ЕИП);
- наличие возможности удаленного конфигурирования и настройки системы;
- легкость и доступность средств мониторинга и управления для оператора.