



Рассматривается последовательная во времени эволюция основных средств и систем автоматизации технологических процессов. Выделяются их современные свойства и направления дальнейшего развития.

Ключевые слова: контроллеры, программно-технические комплексы, SCADA, АСУТП, сети, типовые алгоритмы регулирования.

Введение

Примерно полстолетия прошло с начала процесса по переводу средств автоматизации производства на микропроцессорные компоненты. За это время неузнаваемо изменились сами микропроцессоры, из которых собираются технические средства автоматизации; значительный путь развития прошло системное и прикладное ПО систем автоматизации; стандартизирован ряд важнейших свойств и характеристик технических и программных компонентов средств и систем автоматизации; модернизируются структуры систем автоматизации; существенно расширяются функции автоматического контроля и управления ТП. Коренная перестройка затронула многие этапы самого процесса разработки и изготовления различных средств автоматизации, проектирования и внедрения систем автоматизации на производстве.

Эволюция средств автоматизации не имела, и вряд ли будет иметь скачкообразные изменения (несмотря на возникающие время от времени революционные преобразования в самих микропроцессорных компонентах средств), поскольку она всегда привязана к преемственности с ранее выпущенными средствами. При этом уже в течение ряда десятилетий моральный срок службы производственных средств автоматизации составляет примерно 10 лет, а срок их физического износа доходит до 20 лет, что определяет необходимые диапазоны временной привязки и наследования новых модификаций средств по отношению к ранее производимым. В то же время, естественно, что общее направление развития как программных, так и технических средств автоматизации с некоторым шагом запаздывания учитывает большинство нововведений, появляющихся в мире информационных, компьютерных технологий, проводя определенную адаптацию их к производственным требованиям и условиям работы.

Знание основных путей эволюции, линий развития важнейших свойств и характеристик программных и технических средств автоматизации, расширения их возможностей по автоматизации функций контроля и управления необходимо как разработчикам средств, так и их потребителям, поскольку позволяет наиболее эффективно вести себя на существующем рынке средств и систем автоматизации. Оно вы-

деляет современность и перспективность конкретных средств, учитывает особенности их использования на всем сроке эксплуатации.

Рассмотрим этапы развития основных классов средств и систем автоматизации ТП. Под этим общим наименованием далее понимаются перечисленные ниже типовые средства и системы.

1. Основные средства отдельных уровней управления АСУТП:

- полевой уровень – датчики;
- промышленный уровень – контроллеры и их комплексы;

- информационный уровень – SCADA-программы.

2. Основные общие средства АСУТП:

- сети, связывающие технические средства разных уровней управления;
- типовые алгоритмы регулирования.

3. Основные элементы архитектуры АСУТП: техническая и функциональная структура АСУТП.

Сначала отметим, что в эволюции всех классов программных и технических средств автоматизации прослеживается единое, общее направление развития:

- от частнофирменной, оригинальной разработки отдельного средства каждым его конкретным создателем на базе им выбранных или произведенных компонентов; постепенно, через происходящую среди ведущих производителей средств типизацию, оформляемую в дальнейшем через стандартизацию отдельных компонентов; ко все более широкому внедрению производителями в разрабатываемые средства типовых и стандартных компонентов.

Это общее направление развития программных и технических средств одновременно ведет с точки зрения потребителей к двум разнонаправленным следствиям:

- увеличивающейся открытости программных и технических средств, что способствует упрощению взаимосвязей средств разных производителей и поэтому оказывает положительное влияние на внедрение и эксплуатацию средств;

- все большей унификации однотипных классов средств разных производителей, что постепенно нивелирует многие свойства и характеристики однотипных средств, выпускаемых разными производителями (как транснациональными компаниями, так и ма-

Таблица 1. Эволюция датчиков

№ этапа	Тип этапа	Признак этапа	Характеристики этапа
1	I	Частнофирменное построение датчика	Датчики каждого производителя имеют свои фирменные характеристики
2	I	Типизация выходов датчика	Унифицированные аналоговые выходы датчиков
3	I	Ввод в датчик микропроцессора	Цифровые выходы датчиков и их связь с контроллерами через цифровые полевые сети
4	I	"Интеллектуализация" датчика на базе микропроцессора	Самодиагностика, дистанционная настройка диапазона измерения датчика, первичная обработка измерительной информации, хранение измеренных значений в датчиках
5	II	Расширение функций интеллектуального датчика	Реализация в датчике простейших типовых алгоритмов контроля и управления
6	II	Создание многосенсорного интеллектуального датчика	Измерение пространственных полей, вычисление значения величины по многим компонентам, измеряемым разными сенсорами
7	II	Модульное построение преобразователя датчика	Сборка преобразователя датчика на базе стандартных компонентов (например, из комплекса VXIbus по стандарту IEEE 1155)
8	II	Оснащение датчика радиомодемом	Беспроводная связь с контроллером или концентратором сигналов приборов
9	II	Миниатюризация размеров датчика	Встраиваемые в оборудование датчики, оснащенные радиомодемом

лыми фирмами; как зарубежными фирмами, так и российскими производителями), что отрицательно сказывается на многообразии вариантов однотипных средств, из которых потребитель может отбирать лучший для него вариант.

Естественно, это общее направление по-разному преломляется в средствах разных классов, что выявляется при их конкретном анализе.

Следует отметить, что в процессе эволюции развития каждого класса средств может проходить этапы двух различных типов:

- I тип – этап, изменяющий (совершенствующий) свойства и/или характеристики средств данного класса, и тем самым касающийся почти каждого средства этого класса;

- II тип – этап, расширяющий (дополняющий) возможности использования средств данного класса, и тем самым относящийся к отдельным средствам этого класса.

При этом важно подчеркнуть, что несколько различных этапов развития средств определенного класса большей частью происходят одновременно, что сроки начала и конца отдельных этапов развития достаточно размыты и неопределенны во времени. Поэтому приводимое ниже перечисление этапов развития отдельных классов средств не может рассматриваться как жесткая временная последовательность, а лишь дает представление о наблюдаемых временных направлениях эволюции.

Указанные общие предпосылки и замечания позволяют перейти к конкретному рассмотрению эволюции основных классов средств и систем автоматизации ТП.

Эволюция датчиков (табл. 1)

Все основные, происходящие в последние годы совершенствования датчиков связаны с введением в них микропроцессоров. Это приводит к качественному пересмотру самого понятия датчика, что отмечается его новым наименованием "интеллектуальный датчик".

Подчеркнем особенности современных датчиков, возникшие при включении в них микропроцессорных компонентов и все более широкого их использования для совершенствования свойств и характеристик:

- аналого-цифровое преобразование измеряемого сигнала в датчике и наличие в нем вариантов интерфейсов (сетевых контроллеров) к типовым и стандартным полевым сетям;

- объектно-ориентированное построение преобразователя датчика путем его сборки из типовых модулей, выпускаемых множеством фирм по международным стандартам;

- дистанционное изменение диапазона измерения датчика с пульта оператора;

- самодиагностика датчика, заключающаяся в оперативном информировании оператора о возникающем нарушении в его работе и виде этого нарушения.

Кроме этого, современные датчики приобрели ряд новых функций, ставящих их в ряд универсальных программируемых микропроцессорных средств:

- реализация в датчике различных программ обработки измерительной информации;

- программирование в датчике простейших алгоритмов управления (ПИД регулирования и блокировка), что позволяет исключить использование в контуре управления контроллера за счет непосредственной связи датчика с исполнительным механизмом;

- сравнение значений измеряемой величины с заданными уставками в датчике и сообщения оператору о выходе текущего значения из заданных диапазонов;

- создание в датчике архива значений измеряемой величины.

Применение микропроцессоров в датчиках позволяет также существенно расширить используемые методы измерений за счет построения сенсоров на таких физических принципах, которые требуют для определения значения измеряемой величины объемной вычислительной обработки в масштабе РВ. Все более широко распространяются мультисенсорные датчики, в которых сигналы ряда однотипных или разнородных сенсоров обрабатываются одним микропроцессорным преобразователем [1].

Перспективное развитие датчиков во многом определяется совершенствованием встроенных в них микропроцессоров: уменьшением их размеров, повышением мощности, снижением стоимости. Оно является важным подспорьем нового направления:

производства оборудования ТП с уже встроенными в него датчиками. Особое значение для таких встроенных датчиков имеет беспроводной способ передачи информации контроллерам, поэтому оснащение их радиомодемами и антеннами для подсоединения к беспроводным полевым сетям значительно упрощает их использование в системах автоматизации.

Эволюция контроллеров и ПТК (табл. 2)

Проследив эволюцию микропроцессорных контроллеров и построенных на их базе ПТК можно выделить те узловые моменты, которые существенно сказываются на возможности и глубине автоматизации ТП.

Типизация и стандартизация компонентов контроллеров, их программных и технических интерфейсов, ОС, технологических языков программирования контроллеров приводит к открытости создаваемых систем автоматизации и к возможности их построения из средств разных производителей. В частности, сборка контроллеров из стандартных компонентов, выпускаемых отдельными фирмами, позволяет производить объектно-ориентированную комплектацию контроллеров. Новое направление типизации, в основном обусловленное повышением надежности микропроцессоров, используемых в офисных компьютерах, выражается в сближении структур, компонентов, системного ПО контроллеров и ПК. Появились промышленные ПК с добавленными к ним интерфейсами и блоками ввода/вывода, которые выполняют функции как контроллера, так и рабочей станции оператора.

Построение и развитие серий, состоящих из ряда модификаций контроллеров, отличающихся друг от друга характеристиками центрального процессора и объемами различного вида памяти, возможностями резервирования, приспособлением к разным условиям окружающей среды, числом подключаемых каналов входа/выхода, но имеющих единое системное ПО, одинаковые интерфейсы к сетям и программным средствам, единое инструментальное средство программирования функций контроля и управления, – все это значительно облегчает и удешевляет разработку систем автоматизации, поскольку позволяет наиболее точно подобрать модификацию контроллера под требуемые характеристики для каждого отдельного узла автоматизируемого агрегата и под разные функции контроля и управления. В послед-

Таблица 2. Эволюция контроллеров и ПТК

№ этапа	Тип этапа	Признак этапа	Характеристики этапа
1	I	Частнофирменное построение специализированного контроллера	Преимущественная реализация в контроллере или логических, или математических функций, или определенного класса функций автоматизации
2	I	Частнофирменное построение универсального контроллера	Реализация в контроллере любых программируемых функций контроля и управления
3	II	Частнофирменное построение серии контроллеров	Выпуск ряда разных по мощности модификаций фирменного контроллера, с общим системным программным обеспечением, едиными средствами программирования, одинаковыми интерфейсами к сетям
4	II	Выделение блоков ввода/вывода в отдельный конструктив	Распределение блоков ввода/вывода контроллера по территории производства и связь их с контроллером полевой сетью
5	I	Типизация и стандартизация компонентов контроллера	Типизация операционных систем, стандартизация технологических языков программирования, типизация сетевых интерфейсов, введение интерфейса OPC для связи с SCADA-программой
6	II	Создание сетевого комплекса контроллеров	Объединение серии контроллеров с определенными сетями (промышленной и полевой) и с рабочими станциями операторов
7	II	Создание ПТК	Развитие средств и структуры сетевого комплекса контроллеров; построение клиент-серверной структуры информационного уровня управления
8	II	"Интеллектуализация" блоков ввода/вывода	Включение в блоки ввода/вывода микропроцессоров и реализация в них простейших типовых функций контроля и управления
9	II	Объектно-ориентированная сборка контроллеров	Построение контроллеров на базе стандартных покупных компонентов (например, сборка контроллера из модулей VMEbus по стандарту IES 821 и сборка его блоков ввода/вывода из мезонинных модулей стандарта IndustryPack)
10	II	Выделение класса PC-совместимых контроллеров	Построение контроллеров на базе процессоров и операционных систем персональных компьютеров, что позволяет применять в них весь арсенал программного обеспечения последних
11	II	Построение многоядерных контроллеров	Распределение прикладных программ по различным ядрам, что увеличивает мощность, повышает быстродействие, облегчает программирование, увеличивает надежность реализации программ
12	II	Расширение серий контроллеров за счет сверхмалых модификаций	Выпуск нано- и микроконтроллеров, реализующих одиночные контуры простейших типовых алгоритмов контроля и управления

ние годы значительно расширяется диапазон мощности входящих в серии модификаций контроллеров. С одной стороны, происходит значительное увеличение мощности самых больших контроллеров серии, базирующееся на новых возможностях современных микропроцессоров и, в частности, на использовании многоядерных центральных процессоров; с другой – в серии вводятся модификации контроллеров достаточно малой мощности, обрабатывающие сигналы нескольких входов (так называемые нано- и микроконтроллеры) как свободно программируемые, так и специализированные на определенные, реализуемые в них типовые алгоритмы (например, [2]).

Развитие сетевых комплексов контроллеров и построение на их базе ПТК, наиболее полно охватывающих автоматизацию объемных, территориально-распределенных производственных объектов, снимает ог-

раничения на общее число и разнообразие реализуемых в них функций контроля и управления, на объем и занимаемую территорию автоматизируемого ими производственного объекта. Следует отметить расширяющуюся в последнее время тенденцию создания специализированных ПТК, рассчитанных на определенные классы объектов автоматизации и на происходящие в них процессы. Их специализация заключается в учете специфических свойств таких объектов: особенностях получения информации о текущем состоянии производственного процесса, динамических характеристик процесса, его взрывоопасности, параметров производственной среды, а главное, в оснащении ПТК комплектом типовых для данного класса объектов прикладных программ контроля и управления.

Эволюция сетей ПТК (табл. 3)

Сети всех уровней управления ТП подразделяются на:

- информационные, обменивающиеся информацией между АРМами операторов и между АРМом и сервером (при клиент-серверной архитектуре верхнего уровня управления);
- промышленные, объединяющие контроллеры между собой и с рабочими станциями или с сервером (при клиент-серверной архитектуре);
- полевые, связывающие контроллер с выносными блоками ввода/вывода, с интеллектуальными средствами полевого уровня (датчиками и исполнительными механизмами).

Со временем все типы сетей все более сближаются по своим характеристикам и используемым протоколам, поэтому ниже они рассмотрены совместно в табл. 3.

Развитие сетей всех уровней управления особенно значительно сказывается на общих свойствах и характе-

ристиках систем автоматизации, на особенностях их разработки и модернизации, на возможностях их объединения в единую интегрированную систему автоматизации всего производства.

В последние годы происходит развитие сетей за счет внедрения технических и программных компонентов информационной сети Ethernet на промышленном и полевом уровнях. Возникшие современные сочетания технических средств сети Ethernet в промышленном исполнении (Industrial Ethernet) и ее транспортного протокола TCP/IP с промышленными протоколами более высоких уровней, использующими формат пакетов данных, соответствующих типовым промышленным сетям, оказались выгодными как технически, так и экономически. Так возникли и все более широко распространяются в ПТК разных фирм гибриды:

- Modbus/TCP – сеть, использующая протоколы на уровне приложений Modbus, а на нижнем транспортном уровне TCP/IP;
- ProfiNet – аналогичное сочетание сетей Profibus и Ethernet;
- адаптация протокола Foundation Fieldbus H1 под технологию Ethernet: сеть Foundation Fieldbus HSE (High Speed Ethernet) и т.д.

Бурный рост наблюдается в использовании беспроводных сетей на всех уровнях управления. Беспроводные сети существенно расширяют возможности ПТК, а в ряде случаев являются единственно возможными связующими элементами технических средств ПТК между собой и с производственным персоналом [3].

На информационном уровне в качестве оперативной беспроводной связи систем автоматизации с операторами, находящимися в данный момент вне зоны своего пульта управления, и с мобильным инженерным, административным и обслуживающим персоналом

широко используется сотовая связь GSM. Данные обычно передаются по технологии GPRS в виде пакетов информации текстовых SMS-сообщений.

На промышленном уровне наибольшее распространение находят беспроводные локальные сети по стандарту IEEE 802.11. Они не столько заменяют проводные сети (хотя такая тенденция в определенных областях намечается), сколько расширяют возможности и области применения распределенных систем автоматизации, занимая свои, достаточно четко очерченные ниши, в которых использование проводных сетей или невозможно, или затруднено, или невыгодно. Это в целом определяет рациональную сетевую структуру промышленного уровня распределенных систем автоматизации как совокупность локальных проводных и беспроводных сегментов промышленной сети. Стандарт определяет сотовую архитектуру сети. Общая

Таблица 3. Эволюция сетей

№ этапа	Тип этапа	Признак этапа	Наименование сети	Характеристики этапа
1	I	Частно-фирменные сети каждого производителя ПТК	Информационная	Ethernet, MAP, Arcnet, Talking-ring, FDDI и другие распространенные сети
			Промышленная	Фирменная сеть каждого ПТК
			Полевая	Отсутствует в большинстве ПТК или фирменная
2	I	Типовые и стандартные сети (стандарт промышленных сетей IEC 61158)	Информационная	Ethernet, Fast Ethernet
			Промышленная	Modbus, Profibus, WorldFip, Interbus и др.
			Полевая	HART-протокол, Profibus DP, Foundation Fieldbus, Modbus
3	I	Внедрение протокола Ethernet в промышленные и полевые сети	Информационная	Ethernet, Fast Ethernet, Giga Ethernet
			Промышленная	Industrial Ethernet, Modbus/TCP, ControlNet, ProfiNet и др.
			Полевая	Foundation Fieldbus HSE и др.
4	II	Беспроводные сети	Информационная	Сотовая связь GSM, GPRS; Internet; спутниковая связь
			Промышленная	Связь по стандарту IEEE 802.11 на расстояния ≥ 0,1...10 км
			Полевая	Связь по стандарту IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.4 (Zig Bee) IEEE 802.11.g (Wi-Fi) или по собственной сети на расстояния примерно 10 м

протяженность сети доходит до нескольких десятков километров. Разработкой аппаратуры беспроводных сетей по стандарту IEEE 802.11 сейчас занимаются многие зарубежные специализированные фирмы и крупные производители ПТК.

На полевом уровне получает распространение маломощная беспроводная связь между различными техническими средствами, находящимися на небольших расстояниях друг от друга (порядка 10 м) [4]. В частности, некоторые производители (например, [5]) стали выпускать серии датчиков, снабженных специальными компонентами: радиомодемами и направленными антеннами. Беспроводная связь на этом уровне реализуется большей частью технологиями Bluetooth, Zig Bee, Wi-Fi или частнофирменной разработкой. Достоинствами данного вида связи являются исключительно малая мощность, требуемая для ее реализации, устойчивость к различным помехам, низкая стоимость ее программно-аппаратных средств.

Эволюция SCADA-программ (табл. 4)

Путь от простейших программ ЧМИ до современных, развернутых, мощных и объемных программных пакетов под принятым названием "открытые SCADA-программы" имеет ряд отмеченных ниже особенностей.

На первых порах каждый разработчик контроллера создавал для него свой ЧМИ. Параллельно с этим специализированные фирмы, работающие в области информационной технологии, разрабатывали ПО, поддерживающее взаимосвязь пользователей с различными вычислительными средствами. Причем для расширения фронта использования этих программ начали прилагать к ним инструментальные средства написания драйверов к различной микропроцессорной аппаратуре, что придало ПО открытый характер.

В дальнейшем стало развиваться объединение разработок контроллерных комплексов с программами ЧМИ, написанными специализированными фирмами. Это, с одной стороны, упростило и ускорило разработку ПТК, а, с другой — значительно повысило функциональное наполнение его ЧМИ. Возник и непрерывно совершенствуется новый класс программных пакетов, ориентированных на системы автоматизации — открытые SCADA-программы, разработка которых стала специализацией многих фирм.

Подчеркнем важные для заказчиков направления продолжающегося развития SCADA-программ:

Быстро меняться общество может только в худшую сторону - это называется революция. А все благие изменения, именуемые эволюцией, происходят очень-очень медленно.

Борис Акунин

- более полное, точное и комфортное отображение информации SCADA-программами: в частности, не прекращающееся расширение используемой библиотеки графических примитивов, объемных изображений, элементов мультипликации, готовых типовых производственных изображений и других фрагментов проектов; использование типовых программ статистики, учета, прогноза поведения измеряемых величин; вывод в окно экрана телевизионных кадров промышленных камер;

- создание модульных и вариантных SCADA-программ: формирование функционального состава рабочих станций комбинацией составляющих SCADA-программу взаимодействующих программных модулей, использование различных вариантов модулей для станций операторов, технологов, администраторов, обслуживающего персонала;

- разработка новых методов проектирования ЧМИ конкретной системы (исполнительных комплексов SCADA-программ), упрощающих и ускоряющих процесс реализации SCADA-программы: объектно-ориентированное проектирование [6], парал-

Таблица 4. Эволюция SCADA-программ

№ этапа	Тип этапа	Признак этапа	Характеристики этапа
1	I	Разработка частнофирменной программы связи оператора с контроллерами	Каждый производитель контроллеров выпускает фирменный ЧМИ (программу для работы оператора со своими контроллерами)
2	I	Выпуск открытых программ связи человека с различными микропроцессорными средствами	Разработка SCADA-программ для работы пользователя с различными набором микропроцессорных средств и создание инструмента для написания драйвера к конкретному средству
3	I	Применение открытых SCADA-программ в ПТК	Выпуск открытых SCADA-программ для ПТК с готовыми драйверами к десяткам контроллеров разных производителей
4	I	Типизация связей SCADA-программ с другими программами и СУБД	Использование в SCADA-программе стандартных программных интерфейсов DDE, COM/DCOM, CORBA, технологии ActiveX, связи с реляционными СУБД – SQL/ODBC
5	I	Создание типового промышленного интерфейса OPC	Реализация связи SCADA-программы с любым контроллером, оснащенным OPC-сервером, без специального драйвера
6	II	Построение модульных SCADA-программ	Проектно-ориентированная сборка SCADA-программы из информационного ядра и набора взаимосвязанных модулей
7	II	Расширение технической платформы SCADA-программы	Работа SCADA-программы в разных технических структурах: одномашинной и клиент-серверной
8	II	Расширение программной платформы SCADA-программы	Работа SCADA-программы с разными операционными системами: Windows, QNX, Linux
9	I	Развитие Интернет (Web) – технологии в структуре SCADA-программы	Использование Web-сервера (кроме или вместе с обычным сервером) и подключение через Internet/Intranet Web-клиентов
10	II	Расширение функций и области использования SCADA-программы	Включение в SCADA-программу информационных функций MES-системы и технологических языков программирования контроллеров (Softlogic)

Таблица 5. Эволюция типовых алгоритмов регулирования ТП

№ этапа	Тип этапа	Признак этапа	Характеристики этапа
1	I	Типовой ПИД	Одноконтурный ПИД и его вариации
2	I	ПИД с самонастройкой	Самонастройка регулятора по команде оператора
3	II	ПИД многосвязанного объекта	Многоконтурный ПИД и инструмент его настройки
4	I	Адаптивный ПИД	Автоматическая подстройка регулятора под изменяющиеся показатели процесса
5	II	ПИД с качественными показателями	Учет в регуляторе качественно оцениваемых показателей процесса (ПИД и фазиконтроллер)
6	II	Предикт-контроллер	Одноконтурное и многоконтурное субоптимальное регулирование в виде надстройки над ПИД регуляторами, стабилизирующими показатели процесса
7	II	Нейроконтроллер	Регулирование сложных, нелинейных, многосвязных процессов с транспортным запаздыванием

тельное независимое поузловое проектирование SCADA-программы несколькими разработчиками [7], тиражирование готовых частей проекта;

- развитие многоплатформенности SCADA-программ как по вариантам используемой ею ОС, так и по вариантам технической базы, на которой она должна функционировать;

- повышение открытости SCADA-программ за счет интерфейса OPC, программных стандартов и технологий Microsoft, типовых взаимосвязей с релейными СУБД;

- расширение области применения SCADA-программ: включение в нее дополнительных программных пакетов как касающихся более низкого промышленного уровня (языки технологического программирования контроллеров SoftLogic), так и используемых для интеграции систем автоматизации всего производства (информационные платформы MES, например [8]);

- создание прозрачных беспроводных связей SCADA-программ с разными группами удаленных и мобильных пользователей информации через Internet, Intranet, сотовую связь, телефон.

Эволюция типовых алгоритмов регулирования ТП (табл. 5)

За рассматриваемый период времени в полстолетия наименьшие изменения и совершенствования наблюдаются на российских заводах в области типовых алгоритмов регулирования ТП. По-прежнему в подавляющем большинстве функционирующих АСУТП используются только алгоритмы ПИД регулирования, а не типовые совершенные (Advance), уже несколько лет успешно разрабатываемые многими зарубежными фирмами [9]. Данное положение сложилось в силу ряда обстоятельств:

- консерватизма проектировщиков АСУТП;
- недоверия заказчиков к новым для них и не всегда понятным им алгоритмам;

- низкой квалификации персонала, неспособного обслуживать сложные системы;

- недостаточной мощности используемых контроллеров для реализации в них в ритме с автоматизируемым процессом объемных алгоритмов совершенного управления.

В самое последнее время ситуация стала медленно исправляться. Этому способствует увеличение внимания руководства предприятий к эффективности производственных процессов, убедительные примеры применения совершенных алгоритмов управления на зарубежных предприятиях, приход на российские заводы молодых квалифицированных специалистов, приобретение контроллеров большой мощности (в частности, многоядерных контроллеров).

Все этапы эволюции алгоритмов управления можно подразделить на две группы:

- развитие алгоритмов ПИД регулирования;
- создание новых алгоритмов регулирования, расширяющих класс автоматически управляемых процессов и повышающих точность, качество и эффективность управления.

По первой группе уже порядка десятка лет выпускаются различные варианты совершенного ПИД регулирования. К ним относятся самонастраивающееся по команде оператора одноконтурное ПИД регулирование; самонастраивающееся многоконтурное ПИД регулирование взаимосвязанных величин; адаптивное ПИД регулирование, которое непрерывно вычисляет текущую дисперсию регулируемой величины и при превышении ею заданного значения само производит перестройку параметров регулятора.

По второй группе последние годы особенно интенсивно разрабатываются и начинают практически использоваться новые принципы регулирования:

- регулирование по качественно оцениваемым показателям процесса, на базе так называемого нечеткого регулятора (Fuzzy Controller), построенного по логическим правилам теории нечетких множеств. Управляющие воздействия такого регулятора или непосредственно воздействуют на исполнительный механизм, или используются в качестве заданий, изменяющих уставку и/или параметры ПИД регулятора, что позволяет сочетать точность стабилизации ПИД регулятора с гибкой перестройкой его в разных рабочих ситуациях по качественным характеристикам процесса;

- субоптимальное регулирование, использующее регулятор с предсказанием на базе модели объекта (Predict Controller). Этот регулятор работает в достаточно широком диапазоне свойств автоматизируемого объекта, включая нелинейные объекты, объекты со значительным транспортным запаздыванием, объекты с рядом взаимосвязанных величин (например [10]). Практически он выдает субоптимальные управляющие воздействия и является одним из наиболее экономически эффективных средств управления ТП;

- адаптивное регулирование сложных объектов различных свойств и характеристик на базе нейроре-

гулятора, построенного по технологии, имитирующей работу нейронов мозга.

Эволюция структуры АСУТП (табл. 6)

Чрезвычайно важным фактором, определяющим многие свойства и характеристики системы автоматизации, является функциональная и техническая структура ее построения. От жестко централизованной структуры первоначальных систем автоматизации ее развитие пошло по трем самостоятельным и дополняющих друг друга направлениям.

Вначале развитие структуры пошло по пути территориального распределения технических средств по производственным участкам. Для этого в контроллерах конструктивно были выделены отдельные блоки ввода/вывода, а они вынесены на производство к местам расположения датчиков и исполнительных механизмов и соединены с центральной частью контроллера полевой сетью; иногда и сами контроллеры также распределяются по производству, взаимодействуя друг с другом через промышленную сеть. Появление интеллектуальных полевых средств упрощает распределенную структуру за счет исключения блоков ввода/вывода. Переход к территориальной распределенности технических средств сокращает стоимость и повышает точность работы системы.

Постепенно стало реализовываться выделение самостоятельных по информационной связности задач контроля и управления и реализация их на отдельных технических средствах, входящих в систему автоматизации. Такое распределение функций автоматизации производится между средствами разных классов: интеллектуальными полевыми средствами, интеллектуальными блоками ввода/вывода, функционально-ориентированными микро- и наноконтроллерами, отдельными ядрами многоядерных контроллеров, компьютерами рабочих станций. При этом каждую выделенную задачу системы автоматизации целесообразно решать на наиболее низком уровне управления, на котором возможна ее реализация. Такая реализация структуры упрощает прикладное программирование системы и повышает надежность реализации функций контроля и управления [11].

Последнее по времени направление изменения структуры АСУ ТП обусловлено стиранием функциональных различий между всеми техническими средствами системы; все они в настоящее время являются программируемыми устройствами и имеют достаточно надежные микропроцессоры. Это направление заключается в объединении всех трех сетевых уровней АСУТП (полевого, промышленного и информационного) и использовании в системе автоматизации только одной общей сети, узлами которой являются и рабочие станции, и контроллеры, и интеллектуальные блоки ввода/вывода, и интеллектуальные полевые средства [12]. При этом блоки ввода/вывода и полевые средства уже не принадлежат определенным контроллерам, а могут взаимодействовать с любыми узлами

Таблица 6. Эволюция структуры АСУТП

№ этапа	Тип этапа	Признак этапа	Характеристики этапа
1	I	Централизация технических средств ПТК	Полевые приборы соединяются с контроллерами аналоговыми каналами, все компоненты контроллеров в одном конструктиве, все контроллеры ПТК в одном помещении
2	II	Распределение технических средств ПТК по производству	Блоки ввода/вывода контроллеров (иногда и сами контроллеры) распределяются по территории производства
3	I	"Интеллектуализация" датчиков и исполнительных механизмов	Полевые средства оснащаются программируемым микропроцессором и соединяются с контроллером полевой цифровой сетью, минуя блоки ввода/вывода
4	I	"Интеллектуализация" блоков ввода/вывода	Блоки ввода/вывода оснащаются программируемым микропроцессором и реализуют предварительную обработку данных
5	I	Распределение функций контроля и управления по всем техническим средствам АСУТП	Реализация отдельных функций в интеллектуальных полевых средствах, в интеллектуальных блоках ввода/вывода, в разных ядрах многоядерного контроллера, в рабочей станции оператора
6	II	Техническое объединение рабочей станции оператора и контроллера	Персональные компьютеры оснащаются блоками ввода/вывода, интерфейсами к промышленным и полевым сетям, операционной системой реального времени и работают как рабочие станции и контроллеры
7	II	Размещение всех средств системы на одном сетевом уровне	Единой промышленной сетью связываются персональные компьютеры, контроллеры, интеллектуальные блоки ввода/вывода, интеллектуальные полевые средства

этой сети. Само понятие контроллера как преобразователя информации между жестко закрепленными за ним датчиками и исполнительными механизмами при этом размывается, поскольку любое микропроцессорное средство принципиально может обмениваться информацией с любым другим микропроцессорным средством на сети, а необходимое преобразование информации может быть реализовано в любом средстве, в котором имеется резерв мощности и соответствующая программа преобразования информации. Это, в частности, создает возможность резервирования функций переработки измерительной информации за счет их реализации в ряде подключенных к сети вычислительных средств (как контроллеров, так и рабочих станций) без ввода в отдельные контроллеры специальных резервных компонентов, что позволяет строить высоконадежные и, в то же время, достаточно экономичные системы автоматизации.

Заключение

Рассмотренная последовательная во времени эволюция основных средств автоматизации и построенных на их базе систем автоматизации от начальных этапов развития микропроцессорной техники управления до последних перспективных этапов, намечающих тенденции дальнейшей эволюции средств и систем, позво-

ляет участникам рынка автоматизации более грамотно и квалифицированно реализовывать свои задачи:

- производителям продукции автоматизации помогает определять свое местоположение на рынке и направления дальнейшей модернизации выпускаемой продукции;

- заказчикам продукции автоматизации позволяет согласовывать свои требования с современным состоянием рынка и учитывать в них направления развития продукции, чтобы предотвратить приобретение морально устаревающих средств.

Список литературы

1. *Виноградов А.Л. др.* Перспективы развития комплекса многопараметрических преобразователей давления, уровня и расхода // Автоматизация в промышленности. 2007. № 11.
2. *Алексеев А.А. и др.* Построение устройств связи с объектом на базе контроллеров серий DCS-2000 и DCS-2001 // Там же. 2007. № 6.
3. *Ицкович Э.Л.* Современные беспроводные сети связи в системах автоматизации на промышленных предприятиях // Датчики и системы. 2008. № 6.

4. *Баскаков С.С.* Беспроводные сенсорные сети: вопросы и ответы // Автоматизация в промышленности. 2008. № 4.
5. *Хамов А.А.* Беспроводные решения Smart Wireless от компании Emerson для автоматизации технологических процессов // Там же. 2008. № 4.
6. *Аблин И.Е.* Master SCADA как зеркало современных тенденций // Там же. 2007. № 4.
7. *Анзимиров Л.В.* SCADA Trace Mode – новые технологии для современных АСУТП // Там же. 2007. № 4.
8. Интеграция ИТ и автоматизации. Wonderware System Platform 3.0 // Промышленные АСУ и контроллеры. 2008. № 10.
9. *Ицкович Э.Л.* Интеллектуальность средств и систем автоматизации // Автоматизация в промышленности. 2007. № 6.
10. *Розенберг Л.С. др.* Повышение эффективности работы установки первичной переработки нефти с помощью системы усовершенствованного управления // Промышленные АСУ и контроллеры. 2007. № 2
11. *Плескач Н.В.* Структуры управления с распределенным интеллектом // Там же. 2007. № 9.
12. *Сердюков О.В. и др.* Магистральное направление развития промышленных контроллеров // Автоматизация в промышленности. 2007. № 12.

Ицкович Эммануил Львович – д-р техн. наук, проф., заведующий лабораторией ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН. Контактный телефон (495) 334-90-21.

Система автоматического управления технологическим процессом нейтрализации, отбелки, выморозки подсолнечного масла ОАО "Кировский маргаринный завод"

Цех рафинации подсолнечного масла ОАО "Кировский маргаринный завод" (рис. 1) состоит из трех технологических линий: нейтрализации, отбелки, выморозки. Все сырые масла содержат различные виды сопутствующих примесей, количество этих веществ изменяется в зависимости от вида масла, способа извлечения, сезона, географического положения. Целью процесса нейтрализации является удаление из жира или масла нежелательных примесей с минимальной потерей полезных компонентов. Продуктом линии нейтрализации является рафинированное подсолнечное масло, которое затем отправляется на линию отбелки. Рафинированное масло содержит множество нежелательных примесей в виде раствора коллоидных суспензий. Для удаления этих примесей и получения более светлого цвета масла и подготовки масла к дальнейшей переработке предназначена ли-

ния отбелки. Восковые вещества, содержащиеся в подсолнечном масле, практически не удаляются в процессе щелочной рафинации, поэтому для получения высококачественного рафинированного масла необходимой стадией очистки является его вымораживание. Для обеспечения этого процесса предназначена линия выморозки.

Ранее работавшая на заводе система автоматического управления имела недостаточный уровень автоматизации, требовалось постоянное вмешательство в ТП оператора. Вследствие этого руководством предприятия было принято решение о проведении модернизации производства и разработке новой САУ. Выполнение проекта поручено ООО "Энергис" (г. Киров).

АСУТП рафинации строится как многоуровневая интегрированная человеко-машинная система, работающая в режиме РВ.

В структуре программно-технического комплекса выделяются функциональные подсистемы: сбора и первичной обработки информации; автоматического регулирования; противоаварийных защит; дистанционного управления; представления информации оперативному персоналу; архивирования – хранения данных за определенный период времени; инструментальную (для сопровождения системы, настройки прикладных программ, информационной базы, программирования).

Система управления состоит из трех иерархических уровней (рис. 2).

В нижний уровень входят: датчики измеряемых параметров, исполнительные механизмы. Датчики расхода, температуры, давления и т.д. – 98 ед., исполнительные механизмы (насосы под управлением преобразователей частоты, насосы-дозаторы, пневмо- и ги-



Рис. 1