

К вопросу об архитектуре современных АСУТП

И.А. Колодников (АО «Сибирский химический комбинат»), В.О. Лебедев (ООО «УМИКОН»)

Рассмотрены современные подходы к построению безопасных и надежных АСУТП. Обсуждаются их преимущества и недостатки. Предложена архитектура одноранговой иерархической системы с применением интеллектуальных устройств связи с объектом. На базе данной архитектуры реализована автоматизированная система управления технологическим объектом комплекса экспериментальных установок АО "Сибирский химический комбинат".

Ключевые слова: SCADA, АСУТП, комплекс экспериментальных установок, интеллектуальное устройство связи с объектом, центральный процессор, СНУП-топливо.

Автоматизированные системы управления технологическим процессом получили широкое применение на промышленных предприятиях, начиная со второй половины XX столетия. И практически одновременно с началом эксплуатации первых АСУТП возникла необходимость определения их оптимальной структуры с целью получения наиболее приемлемых показателей по стоимости, надежности и качеству функционирования их элементов. Результаты исследований в данной области представлены в публикациях специализированных печатных изданий и трудах научно-технических конференций и по сей день. Это лишний раз подчеркивает актуальность и интерес к обозначенной проблеме эффективности управления техническими системами. Историческая ретроспектива развития систем автоматизированного управления на химическом предприятии, рассматриваемая в [1], дает хорошее представление зависимости эффективности реализуемых систем от уровня технического развития применяемых в АСУ аппаратных и программных средств своего времени. Основным посылом работы [1] является тезис, что на современном этапе развития информационных технологий и элементной базы различия между распределением функциональной нагрузки и кругом решаемых задач в АСУТП и АСУП становятся "размытыми". Функциональность этих систем во многом обретает общие черты, что сказывается на архитектуре современных систем управления и определяет тренд создания интегрированных многоуровневых АСУ.

Современный рынок изобилует предложениями по эффективному решению проблем, возникающих при эксплуатации АСУТП. Как на коммерческой основе, так и с научно-исследовательской целью свои решения предлагают зарубежные и отечественные производители. Попытка систематизировать тренд современных исследований в области управления технологически-

ми объектами представлена в работе [2]. Зарубежные разработчики создают свои решения уровня SCADA, MES и ERP-подсистем на базе технологии "клиент-сервер", тем самым концентрируя информационную составляющую в единую базу, а информационные потоки объединяя для централизованной обработки с физическим расположением на одной или дублированных серверных машинах. В [2] отмечается, что для надежного функционирования систем управления необходимо разделять функции защиты технологического объекта и управления технологическим процессом. С этой целью производители оборудования предоставляют рынку высоконадежные аппаратные модули, соответствующие стандартам МЭК и готовые исполнять строго определенные функции, что, по мнению производителей, должно значительно повысить безопасность функционирования технологического объекта.

Кроме того, значительное влияние на устойчивость управления технологическим объектом оказывает так называемый человеческий фактор, основной проблемой которого является недостаточно быстрая реакция на события, ошибки оператора, низкая квалификация персонала и т.д. в ходе осознанного взаимодействия человека с управляющей системой.

В работе [3] предложен вариант повышения надежности функционирования систем управления на ядерноопасных объектах (Нововоронежской АЭС) за счет применения принципа разнообразия¹ с целью снижения числа отказов по общей причине. В работе [4] речь идет об объектах Ленинградской АЭС и использовании программной надстройки над основной управляющей программой, которая наделена аналитическими функциями контроля и выработки управляющих воздействий для управляющего ПО. В решении используются статистические и эвристические методы обработки информации².

¹ АСУТП строящихся энергоблоков должны быть защищены от отказов по общей причине, обусловленных ошибками в ПО. Защита от ошибок по общей причине в соответствии с ГОСТ Р-МЭК 60880-2011 может быть обеспечена только применением принципа разнообразия. В проекте АСУТП блока № 1 Нововоронежской АЭС-2 применены программно-технические комплексы в системах как нормальной эксплуатации, так и безопасности. В то же время иницирующая часть подсистем аварийной и предупредительной защиты реактора не защищена от отказов, вызванных возможными ошибками в ПО. Для исключения отказа в работе управляющих систем безопасности по общей причине в проекте реализованы дополнительные меры, исключающие отказ выполнения функций систем безопасности из-за отказа программного обеспечения [3].

² Суть подхода состоит в том, что параллельно с выполнением команд (программы) самой АСУТП Ленинградской АЭС будет выполняться вторая интеллектуальная программа, которая будет контролировать ход выполнения первой (ее эффективность). Для этого необходимо рассматривать каждую цифровую команду и ее параметры в первой программе как атрибутный объект и активизировать эту команду первой программы лишь в том случае, если вторая программа в ходе математических и статистических расчетов классифицирует ее как эффективную. В противном случае вторая программа либо выберет другую команду, либо запросит оператора о дальнейших действиях [4].

Все перечисленные решения подлежат критическому осмыслению при проектировании систем управления экологически опасных производств с их последующим натурным воплощением. Во-первых, под сомнение стоит поставить корректность применения клиент-серверной технологии в системах реального времени. Алгоритм дисциплины "клиент-сервер" предполагает возможность одновременного обращения нескольких клиентов к одному серверу по их инициативе, что вызывает образование очередей нарастающей длины и это, в свою очередь, приводит к отказу выполнения функций системы в наиболее важный момент – момент наибольшей загрузки. Иначе говоря, технология "клиент-сервер" является наихудшим из всех возможных решений задач реального времени, когда требуется постоянно получать ответ в период не больший, чем заданный временной промежуток, необходимый именно в моменты максимальной нагрузки. Во-вторых, всякая централизация информационных ресурсов имеет своим недостатком чувствительность к различного рода угрозам в виде умышленных кибератак или аварийных сбоев в работе сетевого информационного обмена, в сети электропитания, отказов оборудования, в том числе накопителей информации и пр. Стабильное и безопасное функционирование серверного оборудования и программного обеспечения сопряжено с определенными финансовыми и временными затратами.

Применение же статистических и эвристических методов обработки данных в управлении ТП не всегда оправдано, а в управлении процессами, опасными с точки зрения угрозы экологии, жизни и здоровья людей, вообще недопустимы, так как подобные управляющие алгоритмы не предполагают получения детерминированного результата, а выдают решение лишь с некоторой степенью вероятности. Для управления опасными технологическими объектами должны использоваться строго детерминированные управляющие процедуры, результат выполнения которых полностью прогнозируется.

Совершенно справедливо применение в системах контроля и управления технологическими объектами принципов разнообразия аппаратной части системы и отдельных автономных узлов противоаварийной защиты. Но следует отметить, что всякая противоаварийная защита своим предназначением имеет цель перевести объект в безопасное состояние, что, как правило, влечет за собой останов ТП с последующим вмешательством персонала. Часть функций системы противоаварийной защиты, как, впрочем, и других подсистем, можно было бы перенести на платформу АСУТП, где бы решались задачи по прогнозированию и упреждению возникновения аварийных ситуаций, имеющих фатальное значение для последующего течения ТП, и по возможности не допускался аварийный останов технологического оборудования.

Основной причиной возникновения проблем в области быстрого действия при решении поставленных за-

дач и в ограниченности функциональной нагрузки на разных уровнях систем управления является применение архаичных принципов проектирования систем управления, когда система подразделяется на полевой уровень, уровни контроллеров, серверов и АРМ. Отсутствие в такой архитектуре функциональной распределенности по причине обработки всей информации на общем узле каждого подуровня - центральном процессоре контроллера или сервера (и даже при пространственном распределении модулей ввода/вывода) - снижает и производительность, и надежность всей системы. Это же ограничивает эволюцию иерархии системы тремя вышеуказанными уровнями, в рамках которой одновременно с дифференцированием аппаратных средств строго назначаются «этажи» исполнения программного обеспечения, которое привязано к конкретному уровню иерархии технологической структуры, а значит, искусственно ограничено по своим функциональным возможностям.

Исходя из описанных выше соображений, указанные ограничения были устранены при реализации АСУТП комплекса экспериментальных установок АО "Сибирский химический комбинат" по производству СНУП-топлива, используемого в тепловыделяющих элементах реакторов на быстрых нейтронах (проект "Прорыв" Госкорпорации РОСАТОМ). Система управления базируется на программно-техническом комплексе (ПТК) УМИКОН [5]. Создание данной АСУТП начиналось с построения так называемой локальной системы управления комплекса экспериментальных установок, основной целью которой являлось решение задачи по поддержанию состава газовой среды в герметичных боксах [6]. Внедрение системы привело к снижению нагрузки потребления газообразного азота на 60...70% по сравнению с первоначальными планами.

В данной системе управления каждый функциональный уровень рассматривается как завершенная подсистема в составе иерархичной структуры общей системы управления. На каждом уровне иерархии аппаратные средства комплекса в полной мере способны обрабатывать полученную информацию из различных источников и решать задачи по управлению технологическим объектом как в части реализации аппаратных блокировок, так и в части функционирования одноконтурных и составных систем поддержания технологических параметров на заданном уровне. Причем указанные контуры управления технологическими процессами могут функционировать независимо от состояния аппаратной и программной части более высокого уровня иерархии. При этом часть функциональности систем противоаварийной защиты может быть делегирована на более высокий уровень, где выполняются алгоритмические процедуры по прогнозированию развития событий и предаварийные блокировки, не допускающие или снижающие вероятность развития отклонений хода ТП до критического состояния. В то же время информацию

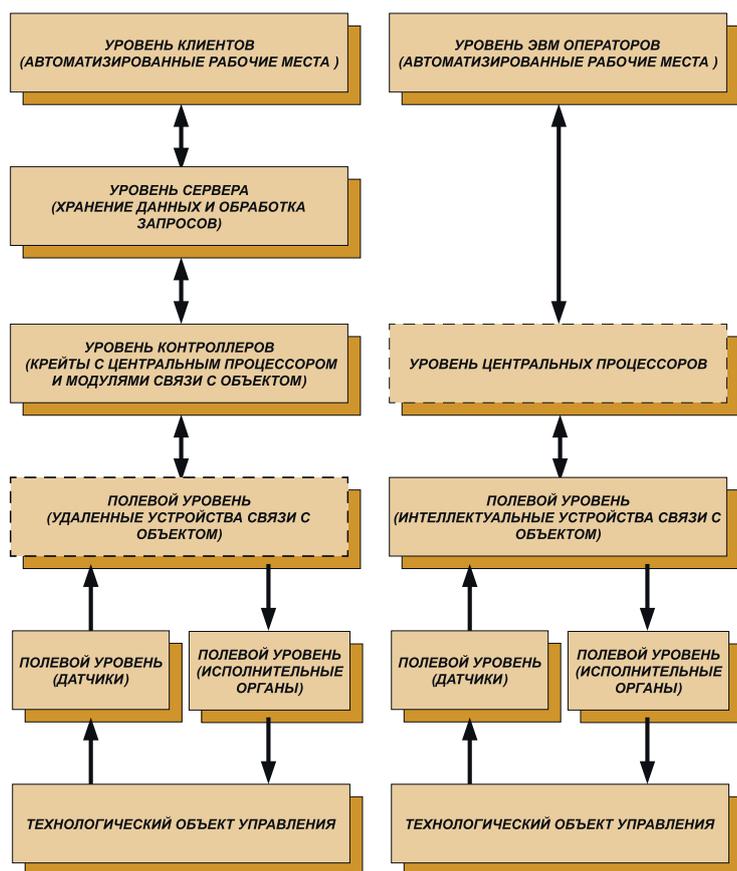


Рис. 1. Сравнение структуры АСУТП с «клиент-серверной» архитектурой и распределенной структуры АСУТП с одноранговой архитектурой уровней иерархии

о достижении критических порогов (аварийных уставок) обрабатывают программно-аппаратные средства нижнего уровня независимо от вышестоящего. При таком подходе к реализации АСУТП, когда каждый модуль устройства связи с объектом представляет собой микроконтроллер, полевой уровень уже выглядит как законченная независимая система автоматического управления, которая может иметь свои уровни иерархии, например, узел, агрегат, установка. Отметим, что именно такой принцип локального управления применен в системах стабилизации параметров газовой среды отдельного герметичного бокса [6], которые объединяются с другими локальными системами в систему управления узла установки.

В случае необходимости решения более сложных задач управления, статистической обработки информации, архивирования данных и т.п. результаты измерения с датчиков технологических объектов и информация о состоянии управляющих каналов локальных регуляторов поступают в модуль центрального процессора (контроллер) более высокого уровня иерархии, где обрабатываются и сохраняются в базе данных реального времени. Отдельные сегменты управляющей системы агрегируются в систему управления установкой, отделения или цеха. Таких ступеней иерархии может быть достаточно много, а значит,

структура управляющей системы может быть сколь угодно сложной без ущерба для работы узлов управления нижней ступени АСУТП.

Далее, по информационной сети данные от контроллеров широковещательной рассылкой или направленной передачей, инициатором которых являются источники, а не потребители данных (в отличие от клиент-серверной архитектуры), поступают на АРМ пользователей каждого уровня иерархии (в нашем примере: установка, цех или завод). Применение широковещательной передачи оправдано, так как позволяет значительно снизить нагрузку сети и этим повысить устойчивость ее работы. Отметим также, что опасения по возникновению "широковещательного шторма" [7] компенсируются рекомендациями по корректной конфигурации сетевого оборудования и мерами противодействия кибератакам. Информационная рассылка по одноранговой сети позволяет сохранять данные независимо на всех машинах и рассматривать каждую ЭВМ как хранилище данных, пригодное для восстановления утраченных архивов на других АРМ, объединенных в единую сеть, конечно же, при наличии соответствующего программного обеспечения. На рис. 1 схематично показаны отличия широко распространенной структуры с централизованными контроллерами на нижнем уровне и клиент-серверной архитектурой на верхнем (слева) от предлагаемой с интеллектуальными устройствами связи с объектом (УСО) и одноранговыми сетями на каждом уровне (справа), имеющей интеллектуальные устройства связи с объектом (УСО) на полевом уровне. Пунктиром показаны уровни, которые могут отсутствовать в структуре.

В большинстве современных систем автоматизации обработка входных сигналов и выполнение технологических программ реализуются исключительно в модулях центральных процессоров контроллера, вызывая его перегрузку и перегрузку каналов обмена данными, а также снижая надежность системы [5]. Отметим, что контроллер необязательно представляет собой единый крейт с модулями ввода/вывода и центральным процессором. Модули ввода/вывода могут быть удалены от процессора, но вся основная обработка данных и исполнение технологической программы ведется именно в процессоре.

Интеллектуальные устройства связи с объектом характеризуются наличием микропроцессора, в котором реализуется полный цикл обработки входных сигналов, выполнение технологических программ, включая обработку управляющих воздействий и их выдачу в виде выходных сигналов на объект управления. Интеллектуальные УСО интегрируются с центральным процессором вышестоящего уровня, который оснащен различными коммуникационными

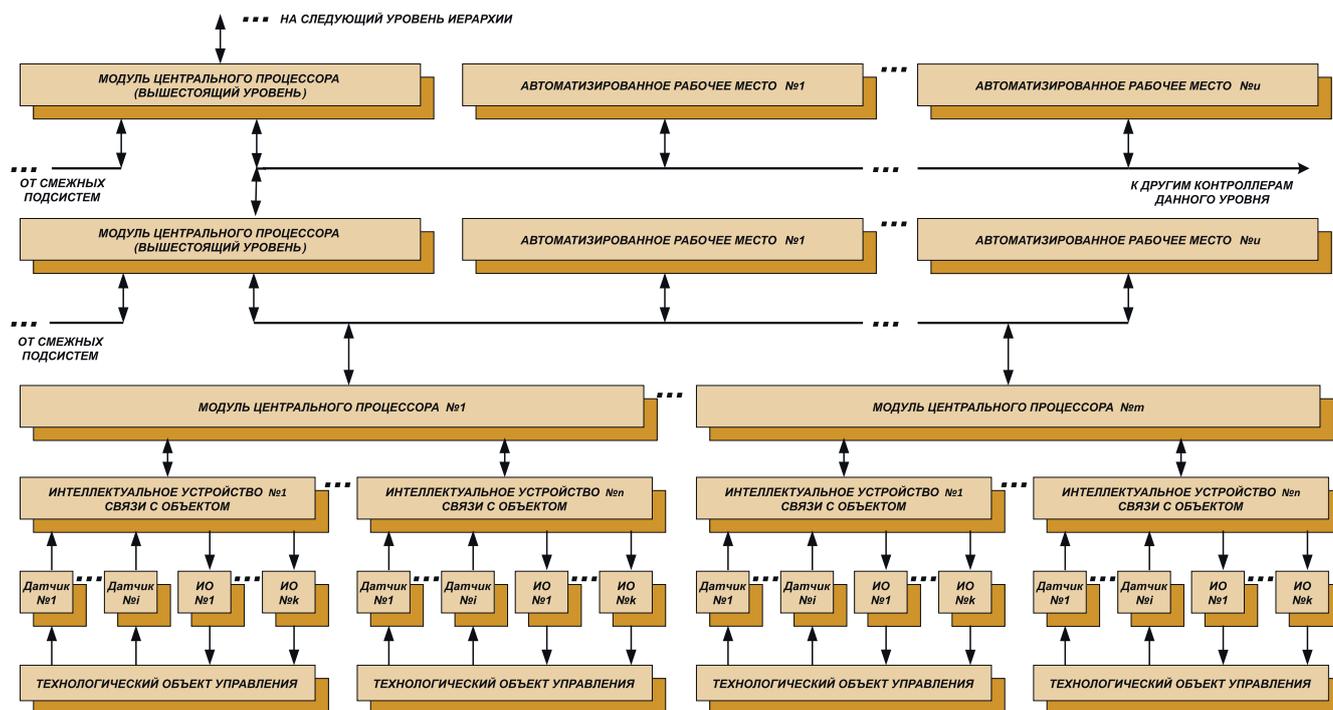


Рис. 2. Иерархическая структура АСУ с одноранговой архитектурой уровней, имеющая в своем составе интеллектуальные УСО

интерфейсами и обеспечивает выполнение программ вышестоящего уровня [5].

Развернутое представление об организации уровней АСУ с использованием интеллектуальных устройств связи с объектом представлено на рис. 2. Такие подсистемы могут быть объединены в системы любого уровня иерархии.

В заключение отметим, что система управления экспериментальными установками АО "Сибирский химический комбинат" эволюционировала от уровня локальной системы управления отдельной установкой до заводского уровня с последующей перспективой наращивания своей структуры, объединяющей все основные технологические переделы и систему диспетчеризации основных энергетических потоков предприятия.

В системе реализованы все основные архитектурные особенности, рассмотренные выше.

Список литературы

1. Егоров А.Ф. Интегрированные автоматизированные системы управления химическими предприятиями // Вопросы современной науки и практики. ТГТУ им. В.И. Вернадского. 2014. №4 (54). С. 11-17.

2. Харазов В.Г. Проблемы и пути развития интегрированных АСУТП // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2013. №18 (44). С. 89-92.

3. Андропов Е.В., Коган И.Р., Поваров В.П., Павлов Л.П. Повышение надежности эксплуатации АЭС на основе реализации принципа разнообразия // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2017. №3. С. 33-44.

4. Карпушин Е.С. Повышение управляемости автоматизированной системы управления технологическими процессами Ленинградской АЭС // Международный научный журнал. 2011. №1 С. 72-77.

5. Лебедев В.О. Об оптимальной структуре комплекса технических средств АСУТП // Автоматизация в промышленности. 2013. №7. С.64-67.

6. Колодников И.А., Шишкин А.В., Лебедев В.О. Автоматическое поддержание состава газовой среды в технологических боксах комплекса экспериментальных установок // Автоматизация в промышленности. 2017. №8. С. 51-53.

7. Терехов Д.В., Сидоренко Е.В., Данилов А.Д. Тенденции развития АСУТП на Нововоронежской АЭС // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2017. №3 С. 66-76.

Колодников Игорь Александрович – ведущий специалист участка эксплуатации КИПиА, АО "Сибирский химический комбинат",
 Контактный телефон 8(3822)504430. E-mail:igor.kolodnikov@yandex.ru

Лебедев Вячеслав Олегович – канд. техн. наук, генеральный директор ООО "УМИКОН".
 Контактный телефон +7(985)764-24-23. E-mail:lebedev-vo@yandex.ru