

## Интеллектуальное управление арматурой

Управление запорной и регулирующей арматурой является исполнительным звеном любого контура управления, включая технологические защиты и системы регулирования, поэтому способ и качество реализации этой подсистемы существенно влияет на основные показатели АСУТП: надежность, стоимость, эффективность и т.п.

В традиционных системах контроля и управления технологическими установками управление арматурой осуществлялось из шкафов НКУ по командам, поступавшим или с ключей управления от оператора с блочного щита управления (БЩУ), или из релейной схемы с релейного щита управления (РЩУ). Т.к. и сигналы от шкафов НКУ до задвижки, и команды от источника до шкафа НКУ передавались по медным проводам, то шкафы НКУ старались также размещать на РЩУ – суммарная длина кабелей не изменялась, а условия эксплуатации и обслуживания на РЩУ лучше. Традиционные схемы управления арматурой были рассчитаны на получения и удержание кратковременной команды от ключа оператора, которая быстро снималась, но должна была действовать до исполнения. Для удержания принятой на исполнение команды в схему управления задвижкой приходилось включать звено «подхвата», а для возможности её отмены - реле отмены команды. Для приёма команд от защит и блокировок схема управления значительно усложнялась включением дополнительных звеньев и контактов. При этом для одного типа электропривода требовалось использовать несколько типов схем.

Появление в управляющих АСУТП микропроцессорных контроллеров изменило разграничение функций между устройствами системы управления – основным назначением релейных элементов стала силовая коммутация и преобразование уровня сигналов. Логические функции перешли к контроллерам, а на реле остались только тепловая и токовая защиты. Это позволило значительно упростить релейные схемы, повысив их надёжность, однако многие поставщики ПТК не спешили вносить соответствующие изменения.

Современные системы управления характеризуются движением интеллекта «в поле». В части управления арматуры этот процесс идёт двумя путями - встраивание микропроцессорных контроллеров в электропривод и появление интеллектуальных шкафов НКУ.

Стремительное развитие микропроцессорной техники в последние годы сделало встраивание контроллера в электропривод рентабельным – гибкость системы и существенное улучшение диагностики привода окупает дополнительные затраты. Но проблему интеллектуализации управления арматурой в АСУТП одна установка микропроцессора на привод не решает - дешёвые контроллеры, встраиваемые в привод, как правило, не могут обеспечить быстроедействие и надёжность цифровой связи с ПТК, необходимые для решения ответственных задач. В результате подключение микропроцессорного электропривода к контроллерам АСУТП производится по сигнальным медным проводам, а проблема сокращения длины кабеля остаётся нерешённой.

Интеллектуализация шкафа НКУ производится путём установки микропроцессорных контроллеров непосредственно в силовой шкаф. При использовании современных контроллеров с резервированным высокоскоростным интерфейсом сигнальные кабельные связи от шкафа НКУ до шкафа контроллеров становятся не нужны, что приводит к сокращению длины кабеля в несколько раз.

Наибольший эффект даёт одновременная интеллектуализация привода и шкафа НКУ.

## Принципы организации управления арматурой

Т.к. управление арматурой является основой всех управляющих функций АСУТП, то к этой системе управления предъявляются жёсткие требования по наблюдаемости, управляемости, отказоустойчивости.

### Наблюдаемость и управляемость

Основополагающие требования к любой системе управления наблюдаемость и управляемость особенно актуальны для управления арматурой, т.к. потеря управления арматурой означает потерю управления всей технологической установкой.

При очевидной необходимости выполнения этих требований, в реальных АСУТП они часто нарушаются. Например, во многих распространённых схемах контроль за состоянием арматуры утрачивается при её переводе на местное управление. Также неблагоприятна часто бывает ситуация с управляемостью – наиболее распространённое средство разработки технологических программ – набор языков стандарта МЭК 61131-3 – не гарантирует перебора разработчиком всех вариантов комбинаций входных параметров состояния арматуры. При возникновении на входах непредусмотренной программой комбинации арматура может стать неуправляемой.

### Устойчивость к отказам

Для обеспечения высокого уровня устойчивости к отказам в иерархической системе, каковой является АСУТП, должен чётко соблюдаться принцип устойчивости подсистем - на каждом уровне управления должен длительное время поддерживаться установившийся режим работы без получения внешних команд управления. Для системы управления арматурой это означает:

1. На уровне схемы управления установившееся состояние арматуры должно сохраняться при временном отключении контроллера (т.е. открытая задвижка должна остаться открытой, а включенный насос не прекращать работу). Исключением из этого правила являются только некоторые быстрозапорные устройства, которые должны сработать при отсутствии управления в течение установленного времени.
2. На уровне алгоблока управления арматурой полученная команда должна обрабатываться в автоматическом режиме, независимо от наличия связи с вышестоящим уровнем.

На случай полного отказа основного ПТК, арматура, задействованная в основных технологических защитах, должна обрабатывать сигнал управления от резервной схемы аварийного останова.

### Эволюция систем управления арматурой на ПТК «САРГОН»

В ПТК «САРГОН» надёжной и эффективной реализации системы управления арматурой всегда уделялось большое внимание. Разработка алгоритмической базы и основных принципов системы было выполнено автором ещё в конце 80-х годов – для обеспечения гарантированной управляемости и наблюдаемости в основу системы была положена теория конечных автоматов. Используемый математический аппарат позволяет даже **доказать** правильность работы алгоритмов управления арматуры, что важно в критичных по надёжности приложениях, например, в подсистемах безопасности, на атомных электростанциях и т.п. Алгоритмическая база была полноценно реализована в ПТК «САРГОН» ещё в 90-е годы XX века, а интерфейс системы разработки программ управления арматурой постоянно совершенствовался.

Одновременно с разработкой алгоритмов управления производилась и оптимизация типовых схем управления арматурой для применения в составе АСУТП. Начатая также в конце 80-х годов XX века, эта работа была завершена к 2003г.

Набор типовых схем и соответствующих алгоритмов управления арматурой позволил сформировать библиотеку типовых решений по управлению арматурой. Первая версия библиотеки появилась одновременно с первой версией ПТК «САРГОН» в 1991г., с 2003г. в проектах АСУТП используется 6-я версия библиотеки. При этом в первые годы (до рубежа веков) в проектах ЗАО «НВТ-Автоматика» использовались стандартные сборки РТЗО, в которых изменялись только электрические схемы управления электроприводами.

В проекте «Идеальный ПТК для энергетики», сформулированном в [1] в 2000г., шкаф РТЗО рассматривался уже как самостоятельный объект автоматизации, который может оснащаться собственным контроллером.

Концепция интеллектуального шкафа НКУ, являющаяся базовым элементом всех современных распределённых АСУТП на ПТК «САРГОН», была опубликована в [2] в начале 2003г. и стала одним из основных источников требований к программно-техническим средствам ПТК «САРГОН-6».

Конструкция интеллектуального шкафа НКУ, содержащего как общепринятые силовые блоки с автоматами и пускателями для управления электроприводами, так и контроллерный блок, разрабатывалась одновременно с новыми компонентами ПТК. При разработке типового интеллектуального НКУ была поставлена задача обеспечить максимальную совместимость новой конструкции с типовым шкафом РТЗО при использовании преимуществ современных силовых и электронных компонентов:

1. Использование современных компактных силовых коммутационных компонентов позволило более чем в два раза уменьшить высоту типового блока управления присоединением. При использовании компактных электронных компонентов семейства Армконт А4 [3] в габариты стандартного шкафа РТЗО можно установить электронный блок и до 8 силовых блоков на 2 единицы арматуры каждый. Общее число присоединений увеличивается до 16, что вдвое превышает типовое для традиционных шкафов РТЗО.
2. Преемственность с РТЗО позволила использовать отработанную за многие годы конструкцию и обеспечила простоту изготовления шкафов – традиционные РТЗО находятся в серийном производстве на большом количестве заводов.
3. Компактность стандартного шкафа РТЗО обеспечивает простоту его размещения на площадках вблизи управляемой арматуры, что очень важно при создании распределённой системы управления.
4. Проектным организациям также очень удобна преемственность новых НКУ с классическими РТЗО, позволяющая использовать накопленный опыт при проектировании современных систем.
5. Важным достоинством совместимости с РТЗО является простота интеграции новых шкафов при частичной модернизации существующей СКУ. Новый шкаф может быть просто вставлен в существующую сборку вместо установленного ранее.

Первый опытный шкаф «ИРТЗО» (интеллектуальный РТЗО) был изготовлен «НВТ-Автоматика» в 2005г (Рис. 1). Он содержал электронный блок на базе контроллера Армконт-300 и силовой блок на 2 присоединения. После успешных испытаний по управлению электроприводом реальной задвижки, предоставленной нам одним из заказчиков, конструкция шкафа была доработана и передана в серийное производство.

В 2006г. состоялись два внедрения систем на базе ИРТЗО: на ТЭЦ-9 «Мосэнерго» была введена в эксплуатацию система автоматизированного розжига газо-мазутного котла БКЗ-320, а на Рефтинской ГРЭС – система управления топливоподачей для шести энергоблоков 300 МВт. В основу обеих систем было положено использование шкафов ИРТЗО на новых контроллерах Армконт, специально разработанных ЗАО «НВТ-Автоматика» для создания распределённых систем. При этом в системе управления розжигом были установлены новые шкафы ИРТЗО, а на топливоподаче Рефтинской ГРЭС

существующие РТЗО модернизировались в ИРТЗО путём установки контроллерного блока в шкаф на место, освобождённое при упрощении релейной схемы.

В 2007г. на базе ИРТЗО была внедрена полномасштабная АСУТП котла ТГМ-84 Волжской ТЭЦ, в которой количество контроллеров Армконт-300, установленных в ИРТЗО, достигло 26 шт.



**Рис. 1. Опытный шкаф ИРТЗО, изготовленный в 2005г**

Новые возможности по совершенствованию шкафов ИРТЗО создало включение в 2008г в ПТК «САРГОН» модулей УСО семейства Армконт А4: модуль 64DЮ обеспечивает возможность ввода-вывода 8 групп по 8 дискретных сигналов с возможностью программного назначения каждой группы на ввод или на вывод; модули клеммников-преобразователей К8DI/К8DO обеспечивают возможность приёма и выдачи сигналов =24В, ~24В (от ПБР!), =220В, ~220В в любой комбинации; модуль 9АЮ используется для ввода сигналов положения регуляторов и других аналоговых сигналов локальной системы управления. В совокупности они обеспечивают удобство создания локальной системы управления функциональным узлом или группой на базе шкафа ИРТЗО. С появлением модулей семейства А4 контроллеры Армконт стали устанавливать не в каждый шкаф ИРТЗО, а на группу шкафов – мегабитная резервированная сеть семейства А4 обеспечивает необходимое качество связи, а свобода в выборе состава электронного блока ИРТЗО (с контроллером или только УСО) позволяет оптимизировать структуру АСУТП под технологический объект управления. Резервированная пара контроллеров Армконт-310 устанавливается, как правило, на функциональную группу технологического оборудования.

С 2008г. ИРТЗО используются во всех управляющих АСУТП, разрабатываемых и внедряемых ЗАО «НВТ-Автоматика».

## Типовой шкаф ИРТЗО на ПТК «САРГОН-6.5»

**Интеллектуальный шкаф РТЗО** (Рис. 2) предназначен для управления арматурой, функциональными узлами и группами технологического оборудования:

– Компактный шкаф (800\*400\*2000) одностороннего обслуживания защищенного исполнения (IP54-IP65).

– Модули УСО (если требуется, резервированные) устанавливаются непосредственно в шкаф РТЗО на место верхнего блока управления, или в надстройку, устанавливаемую на шкаф.

– Команды управления передаются по вычислительной сети, которая, как правило, резервируется.

– Допустимое число присоединений – от 12 до 16 (в зависимости от типа арматуры и высоты шкафа).

– Высокая помехоустойчивость и широкий температурный диапазон работы модулей позволяют размещать шкафы ИРТЗО в тех же местах, где устанавливаются стандартные РТЗО.

– В главный шкаф сборки может устанавливаться резервированная пара контроллеров, управляющая функциональной группой технологического оборудования.

– Сигналы от пультов местного управления и ключей дистанционного управления вводятся через удаленные модули УСО и обрабатываются контроллером аналогично командам от АРМ оператора.

– Модули УСО связываются с контроллерами по высокоскоростному резервированному каналу RS-485, контроллеры между собой и с верхним уровнем – по резервированному Fast Ethernet.



**Рис. 2. Шкаф ИРТЗО на 14 присоединений**

**Использование ИРТЗО даёт большие преимущества по сравнению со стандартными РТЗО:**

### 1. По конструкции шкафа управления:

а) Программная реализация технологических блокировок и команды «Стоп» существенно упрощает схемную логику и значительно сокращает число типов блоков управления исполнительными устройствами.

б) Сокращение числа релейных компонентов на присоединение обеспечивает минимизацию размеров типового блока и стоимости шкафа управления. Обязательный комплект для задвижки включает: трехфазный автомат защиты двигателя, пускатель, однофазный автомат защиты цепей управления. Тепловое реле защиты двигателя навешивается на пускатель или совмещено с трехфазным автоматом (при использовании импортных автоматов). В состав блока также включается токовое реле, если этого требует схема управления.

с) Сокращение числа клемм обеспечивается использованием большинства сигналов в том же шкафу.

д) Увеличение плотности компоновки (с 8 до 12-16 присоединений на шкаф), обеспечиваемое сокращением размеров блоков и клеммников, позволяет экономить

дорогие площади при новом строительстве и вписывать управление большим числом приводов в существующие помещения (например, при реконструкции узлов розжига, электрификации арматуры и т.п.).

## **2. По созданию системы управления в целом:**

- a) Значительное сокращение длины кабельных линий и объема монтажных работ.
- b) Ускорение и существенное упрощение внедрения системы управления группой исполнительных устройств.
- c) Однотипность конфигураций контроллеров и привязки входных/выходных сигналов
- d) Существенное уменьшение площади, требуемой для размещения автоматики.
- e) Существенное сокращение совокупной стоимости внедрения системы.

## **Построение АСУТП с использованием ИРТЗО**

ИРТЗО, оснащенный средствами микропроцессорного и силового управления, является оптимальным средством создания локальной системы управления функциональной группой технологического оборудования. АСУТП, использующая ИРТЗО, эффективно строится как интеграция ЛСУ функциональных групп. При этом в качестве интеграционного средства можно эффективно использовать мощные контроллеры ПТК «САРГОН» типа TREI-05 или Армконт-400, на которых реализуются координирующие алгоритмы контроля и управления технологической установкой.

Высокая надёжность системы управления, построенной на базе ИРТЗО, обеспечивается высоким качеством используемых средств автоматизации и совокупностью технических решений, разработанных при создании типового шкафа:

- Используемые средства отвечают требованиям, предъявляемым к системам технологических защит.
- Типовой проект предусматривает резервирование контроллеров, вычислительных сетей (Ethernet и RS-485), всех видов питания ( $=24В$ ,  $=/\sim 220В$ ), модулей УСО для сигналов, участвующих в технологических защитах.
- Функционально-групповая распределённость системы на базе ИРТЗО обеспечивает её высокую устойчивость к локальным отказам и сбоям.

Классическим примером реализации ЛСУ на ИРТЗО является система управления газо-мазутной горелкой котла.

## **Управление горелкой газо-мазутного котла**

В соответствии с действующими правилами безопасности по газовому и мазутному хозяйству в зависимости от конструкции горелки (наличие периферийного подвода газа, наличие погорелочного регулирования) на ней устанавливается до 15 единиц электрифицированной арматуры и запальное устройство. Для контроля за состоянием горелки также вводятся дискретные сигналы режима управления горелкой, наличия общего факела и факела запальника, аналоговые сигналы давления газа перед горелкой и после первого клапана, мазута перед горелкой, положения регулирующих клапанов. В непосредственной близости от горелки располагается щит местного управления горелкой или группой горелок (ЩУГ), сигналы с ключей которого также должны обрабатываться в АСУТП.

Система управления горелкой должна соответствовать требованиям по надежности и быстродействию, предъявляемым к системам технологических защит. Должны быть реализованы алгоритмы высокого уровня сложности, включая защиты, блокировки, автоматический розжиг.

Использование ИРТЗО позволяет реализовать локальную систему управления горелкой в одном шкафу с минимальным объемом монтажных работ:

- на каждую горелку устанавливается один шкаф ИРТЗО, который размещается на оптимальном расстоянии от горелки (в зоне допустимой температуры, но, желательно, не

далее 20-30 м); шкафы комплектуются в сборки по технологическому принципу (по сторонам или ярусам котла);

- ввод сигналов состояния и выдача управляющих воздействий на все исполнительные устройства горелки производится из резервированной пары контроллеров Армконт-310 (пара устанавливается на группу из 2-4 горелок с одной стороны котла) или резервированной пары модулей 64DIO (в остальных шкафах ИРТЗО группы горелок) через клеммники, обеспечивающие преобразование уровней сигнала  $\sim 220/24$  В и  $\approx 220/24$  В;
- ввод аналоговых сигналов горелки производится через модуль 9AIO;
- ввод сигналов с ключей местного управления осуществляется через удаленный модуль УСО 64DIO, размещенный в ЩУГ и подключаемый к контроллеру по RS-485; ЩУГ устанавливается на группу горелок одного яруса с одной стороны котла;
- размещение контроллеров и силовой коммутационной аппаратуры в одном шкафу сокращает длину кабелей и объем монтажных работ более чем в 2 раза;
- все алгоритмы управления горелкой, включая регулирование, технологические защиты, блокировки и автоматизированный розжиг, реализуются в контроллере группы горелок.

Коммуникационные возможности контроллеров Армконт и ПО «САРГОН» обеспечивают простое включение ЛСУ горелки в состав АСУТП котла/энергоблока. При этом координатором ЛСУ горелок становится резервированный контроллер, управляющий котлом.

Использование ИРТЗО позволяет построить компактную, типовую, высоконадежную и эффективную локальную систему управления горелкой.

### **Опыт влияние ИРТЗО на характеристики АСУТП**

Пятилетний опыт использования ИРТЗО в АСУТП энергетических установок подтвердил правильность принятых технических решений:

- при внедрении АСУТП строящихся установок использование ИРТЗО, устанавливаемых рядом с управляемой арматурой, позволило сократить длину кабельных трасс и объем монтажных работ по ним в 2-4 раза (в разных проектах);
- при модернизации действующих СКУ применение ИРТЗО позволяет минимизировать как стоимость, так и время выполнения монтажно-наладочных работ; во многих проектах (например, на топливоподаче Рефтинской ГРЭС) удалось ограничить монтаж только внутренним пространством шкафов НКУ.

### **Развитие систем интеллектуального управления арматурой**

Следующим принципиальным шагом в интеллектуализации управления арматурой является переход на непосредственное цифровое управление. Современные приводы, оснащенные встроенными контроллерами и пускателями, могут управляться непосредственно по цифровым каналам связи. В этом случае ячейка управления присоединением в шкафу НКУ вырождается в защитный автомат.

Такой способ управления предоставляет важные преимущества, главным из которых является доступ к диагностической информации о состоянии арматуры и электропривода, но, как указывалось в начале статьи, требует повышения скорости и надежности сетевых интерфейсов встроенных контроллеров электропривода.

Ввиду того, что увеличение скорости на два порядка от существующей, требуемое для ответственных систем управления, произойдет не скоро, построение системы прямого цифрового управления ответственной арматурой возможно только при использовании интеллектуального шкафа НКУ. Шкаф должен оснащаться резервированным контроллером, обеспечивающим управление подчиненной арматурой по цифровым интерфейсам со скоростью, доступной встроенным контроллерам, и обмен информацией с другими контроллерами ПТК по резервированным высокоскоростным интерфейсам.

## **Заключение**

1. Для систем управления арматурой выполняется общая закономерность движения интеллекта «в поле».
2. Современным уровнем интеллектуализации управления арматурой являются сочетание интеллектуального привода и интеллектуального шкафа НКУ. Успешным примером интеллектуального НКУ является шкаф типа «ИРТЗО», разработанный ЗАО «НВТ-Автоматика» на базе ПТК «САРГОН».
3. Перспективным направлением развития систем управления арматурой является организация быстродействующей и надёжной цифровой связи между интеллектуальным шкафом управления и микропроцессорным приводом арматуры.

## **Список литературы**

1. Менделевич В.А. *«Идеальный ПТК для энергетики»: от постановки проблемы к решению.* // Москва, Промышленные АСУ и Контроллеры №3 2000.
2. Менделевич В.А. *Управление исполнительными устройствами в программно-техническом комплексе «САРГОН».* // Москва, Промышленные АСУ и Контроллеры №1 2003.
3. Романов Б.А. *Новые модули АРМКОНТ® А4 для современных распределенных АСУТП* // Москва, Промышленные АСУ и Контроллеры. №12 2007.