

# Автоматизация процесса производства технического углерода

Дмитрий Антропов, Тимофей Петров, Василий Линник, Сергей Фролов

В данной статье рассматриваются различные аспекты создания АСУ ТП производства технического углерода на примере системы, разработанной по заказу ОАО «Нижнекамский завод технического углерода». Представленная система обладает высокими эксплуатационными характеристиками и при этом имеет относительно низкую себестоимость. Особое внимание в статье уделяется вопросам организации аппаратного резервирования.

## ВВЕДЕНИЕ

Как известно, технический углерод, или сажа, используется как один из основных компонентов при изготовлении красок, пластмасс, резины и многих других материалов. Изделия из таких материалов находят широкое применение в различных областях жизни и деятельности человека. Самое массовое из этих изделий на сегодняшний день — автомобильные шины.

В наше время существует множество методов производства сажи. И все же основным до сих пор является печной способ, который предполагает термическое разложение тяжёлых предельных углеводородов при малом доступе воздуха в специализированных печах. Из образующейся в результате газовой смеси сажи извлекается путём улавливания при помощи специальных фильтров.

## Цели внедрения АСУ ТП

Целями внедрения АСУ ТП в ОАО «Нижнекамский завод технического углерода» (далее НКТУ) являлись:

- стабилизация эксплуатационных показателей технологического оборудования и режимных параметров технологических процессов;
- получение в режиме реального времени информации о ходе технологических процессов;
- диагностирование и предупреждение возникновения аварийных ситуаций;



Реакторное отделение цеха № 1 Нижнекамского завода технического углерода

- согласование нагрузок на технологическое оборудование с учётом периодического режима реализации основных стадий производства;
- выбор рациональных технологических режимов в условиях сложного многосвязанного регулирования;
- замена ручной обработки документов оборота машинной.

## ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Объектом автоматизации является реакторное отделение цеха № 1 НКТУ, в состав оборудования которого входят восемь цилиндрических реакторов, попарно образующих четыре технологических потока, соответствующих разным маркам выпускаемого технического углерода. Первый и второй пото-

ки включают в себя по два реактора типа РС-105/2000, третий и четвёртый потоки — по два реактора типа РС-50/3500. На каждом из потоков работает только один из реакторов, другой находится в резерве.

Не вдаваясь в детали различия конструкций реакторов разных типов, опишем в общем виде строение технологической установки получения печного технического углерода (рис. 1).

Реактор представляет собой цилиндрическую печь с наружным диаметром около двух метров. Изнутри печь выложена огнеупорным кирпичом таким образом, что образуется круглая в сечении рабочая зона диаметром приблизительно 300 мм. В передней торцевой части печи расположены форсунки для

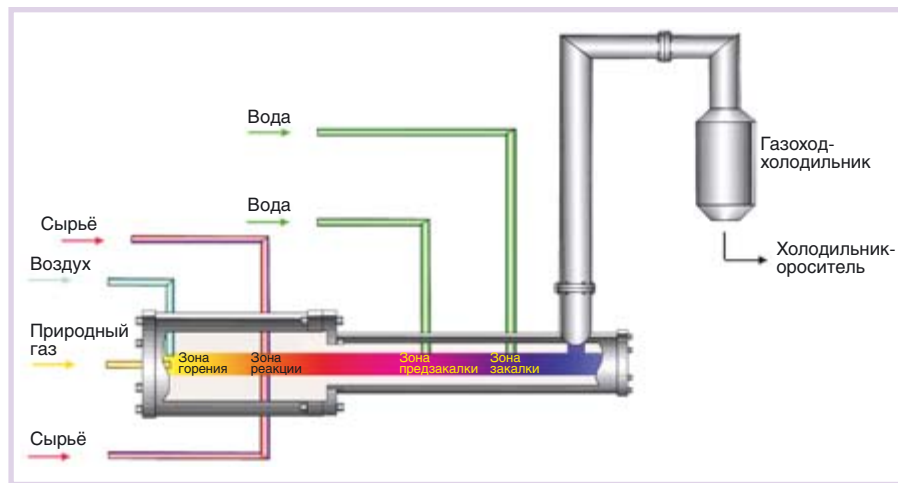


Рис. 1. Строение технологической установки получения печного технического углерода

подачи газа и воздуха на горение. Рабочая зона делится на четыре части. Первая, прилегающая к передней торцевой части реактора, — зона горения. В этой зоне происходит сжигание природного газа для создания и поддержания необходимой температуры в реакторе. Вторая зона — зона реакции. Она расположена сразу после зоны горения, в ней происходит собственно разложение углеводородного сырья. Сырьё (пиролизная смола) впрыскивается в зону реакции через четыре сырьевые форсунки, расположенные радиально по бокам реактора. Третья и четвёртая зоны — соответственно зона предзакалки и зона закалки. В этих зонах формируется структура сажевых зёрен, влияющая на свойства технического углерода. Процесс формирования зёрен зависит от температурного режима, который поддерживается путём впрыска воды через водяные форсунки, установленные по бокам реактора. В задней торцевой части реактора находится труба (газоход), по которой аэрозоль технического углерода движется в холодильник-ороситель, где охлаждается путём впрыска воды и передаётся в отделение улавливания. Таким образом, каждая технологическая установка имеет ряд регулируемых параметров: расход газа, расход сырья, расход воздуха высокого давления, расход химически очищенной воды. Регулируя эти параметры, необходимо поддерживать требуемый температурный режим во всех зонах реактора и холодильника-оросителя.

Опуская подробности физико-химических процессов получения активного печного углерода, затронем только технический и программный аспекты созданной АСУ ТП производства технического углерода.

### ТЕХНИЧЕСКИЙ АСПЕКТ СИСТЕМЫ

При выборе технических средств перед разработчиками (фирма «Эталон ТКС») стояла задача подобрать такое оборудование, чтобы обеспечить заданную надёжность при минимизации себестоимости системы. В результате были предложены несколько вариантов состава технических средств. Нашими специалистами было проведено комплексное исследование предложенных вариантов, включавшее оценку мощности вычислительных ресурсов, необходимости резервирования, расчёт среднего времени наработки на отказ и вероятности безотказной работы.

Разработанная структура технического обеспечения АСУ ТП учитывает разбиение объекта автоматизации на технологические потоки и построена по принципу максимального их разделения, так чтобы выход из строя компонентов комплекса технических

средств АСУ ТП одного потока не влиял на работу других потоков.

Структура комплекса технических средств АСУ ТП для 1-4 технологических потоков НКТУ представлена на рис. 2.

Она включает в себя следующие уровни:

- уровень датчиков и исполнительных устройств;
- уровень устройств ввода-вывода;
- уровень управляющих станций;
- уровень взаимодействия системы управления с оператором (интерфейсный уровень).

Особое место в структуре занимает сетевое оборудование, при помощи которого осуществляется связь между верхними уровнями по сети Ethernet.

Уровень датчиков и исполнительных устройств в данном проекте реализован преимущественно на отечественных изделиях, что существенно снижает стоимость системы.

Уровень устройств ввода-вывода построен на контроллерах сбора данных и управления ADAM-5000/TCP (Advantech) с портом промышленной сети Ethernet, укомплектованных модулями ввода-вывода серии ADAM-5000 следующих типов:

- ADAM-5017 — 8-канальный модуль аналогового ввода;
- ADAM-5018 — 7-канальный модуль ввода сигналов термодпар;
- ADAM-5024 — 4-канальный модуль аналогового вывода;
- ADAM-5051 — 16-канальный модуль дискретного ввода;
- ADAM-5056 — 16-канальный модуль дискретного вывода.

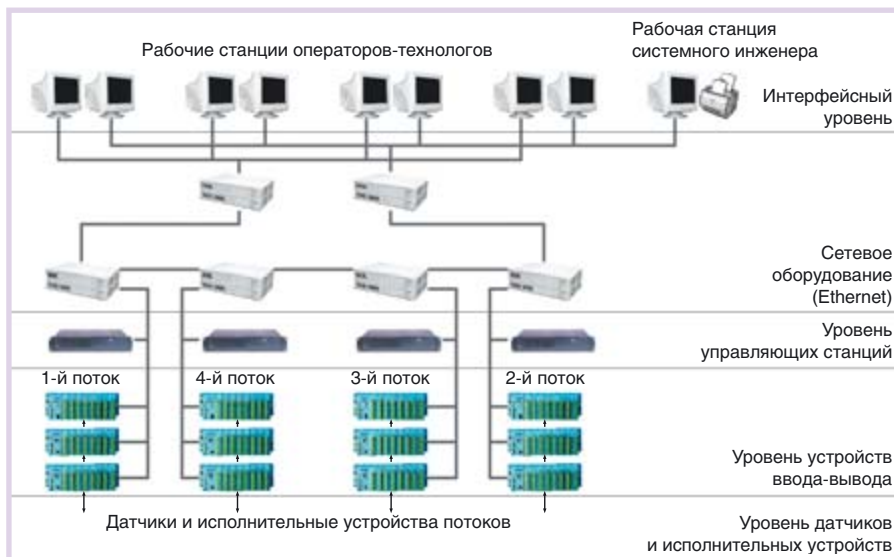


Рис. 2. Структура комплекса технических средств АСУ ТП производства технического углерода для 1-4 технологических потоков НКТУ

На каждый поток приходится по три контроллера ввода-вывода (рис. 3): основной управляющий, резервный и контроллер сбора общецеховых параметров. Основной управляющий контроллер обеспечивает управление реакторами потока. Резервный контроллер включается в работу при отказе основного контроллера и полностью берет на себя управление технологическими установками. Переключение с основного контроллера на резервный осуществляется путём автоматической механической перекоммутации каналов ввода-вывода, причем удалось обеспечить безударный переход на резервное оборудование без потери управления технологической установкой. Контроллер сбора общецеховых параметров обеспечивает получение данных, общих для двух соседних (идентичных по типу используемых реакторов) потоков. В случае выхода из строя такого контроллера на одном из потоков сбор общецеховых параметров продолжается аналогичным контроллером соседнего потока.

На уровне управляющих станций реализуется логика управления технологическим объектом, в соответствии с которой производится обработка и



**Рис. 3. Шкаф с тремя контроллерами ADAM-5000/TCP (основной, резервный и сбора общецеховых параметров); над контроллерами установлены реле, осуществляющие механическую перекоммутацию каналов ввода-вывода на резервное оборудование**

анализ поступающей с устройств ввода-вывода информации и генерация управляющих воздействий по заданным алгоритмам регулирования. Управляющие станции являются цент-

ральным «мозгом» системы, здесь производятся расчёты по сертифицированным алгоритмам нормированных расходов газа, сырья, воздуха и воды, вычисляются управляющие воздействия по ПИД-алгоритмам, осуществляется автоматический перевод технологического оборудования из одного режима в другой, реализуется логика противоаварийной защиты и т.п.

В проекте реализовано резервирование управляющих станций. Так как технологические установки первого и второго, а также третьего и четвертого потоков полностью идентичны, управляющие станции идентичных потоков взаимно резервируют друг друга. Так, например, при отказе станции первого потока управление первым потоком возьмет на себя станция второго потока.

Уровень управляющих станций АСУ ТП реализован на базе процессорных плат РСА-6178 (Advantech) с процессором Intel Pentium III 550 МГц. В комплекте с необходимым периферийным



**Рис. 4. Размещённые в шкафу управляющая станция и источник бесперебойного питания**

оборудованием (ОЗУ и НЖМД) каждая такая плата представляет собой мощную и современную промышленную станцию управления. Выбор столь мощной процессорной платы обусловлен широким набором перечисленных задач, реализуемых на управляющих станциях; кроме того, было учтено, что в режиме резервирования одна станция ведёт управление сразу двумя технологическими потоками, в каждом из которых потенциально может находиться до двух работающих реакторов.

Плата РСА-6178 имеет интегрированный сетевой адаптер стандарта Ethernet. Плата устанавливается в низкопрофильное промышленное шасси IPC-602 фирмы Advantech (рис. 4). Устройства ввода-вывода и управляющие станции каждого потока размещаются в 19" шкафах со степенью защиты IP65.

Для разводки сигнальных проводников использованы надёжные и очень удобные в эксплуатации наборные клеммы WAGO.

Питание аппаратуры осуществляется продублированными (подключены параллельно через диоды Шоттки) источниками питания NFS110 (Artesyn Technologies), отличающимися неприхотливостью ко входному напряжению (85-264 В, 47-440 Гц) и высокой стабильностью выходного напряжения.

Для обеспечения устойчивости системы к помехам в цепях питания в состав комплекса технических средств включены источники бесперебойного питания Smart-UPC SUA1500INET (APC), которые, помимо фильтрации сетевых помех, способны обеспечить автономную работу системы в течение 20 минут после отключения электропитания. Система управления диагностирует наличие электропитания и выдаёт аварийный сигнал, что позволяет оперативному персоналу своевременно перевести технологический процесс в безопасный режим и избежать повреждения оборудования и порчи продукции.

Уровень взаимодействия системы управления с оператором реализует операторский интерфейс, который снабжает оператора-технолога оперативной информацией о протекании технологического процесса, обеспечивает приём от оператора директив и передачу их на управляющие станции. На уровне взаимодействия системы управления с оператором реализуются также функции накопления и отображения архивной исторической информации.

В качестве рабочих станций операторов-технологов используются IBM PC совместимые персональные компьютеры стандартного исполнения с сетевым интерфейсом Ethernet. Рабочие станции операторов для защиты от внешних неблагоприятных условий эксплуатации (сажевая пыль) размещены в специальных пультах с принудительным нагнетанием чистого воздуха (рис. 5) и укомплектованы защищёнными промышленными клавиатурами с манипуляторами DT-810 фирмы Texas Industrial Peripherals (рис. 6).



Рис. 5. Операторская цеха № 1 НКТУ: рабочие станции попарно (основная и резервная) размещены в пультах с принудительным нагнетанием чистого воздуха для защиты от сажевой пыли



Рис. 6. Рабочая станция, укомплектованная защищённой промышленной клавиатурой с манипулятором DT-810 (Texas Industrial Peripherals)

С целью обеспечения непрерывности управления технологическим процессом в случае отказа компьютера для каждого из потоков установлено по две одинаковых рабочих станции операторов, функционирующих независимо друг от друга.

Комплекс технических средств АСУ ТП объединён высокоскоростной локальной вычислительной сетью (ЛВС) стандарта Ethernet с использованием сетевых концентраторов (3Com), что обеспечивает требуемую скорость передачи данных и возможность наращивания системы. Топология сети звездообразная.

Структура ЛВС (рис. 2) проектировалась таким образом, чтобы обеспечить требуемые надёжность и скорость передачи информации. Операторские станции подключены к разным ветвям ЛВС, а связь с управляющими станциями потоков возможна по двум маршрутам, что придаёт системе устойчи-

вость к нарушениям каналов связи. Кроме того, подобная структура делает возможным логическое диагностирование состояния средств и физических каналов передачи данных по сети. Для передачи информации применяется экранированный кабель типа витая пара SFTP.

Таким образом обеспечена защищённость системы от внешних неблагоприятных факторов и, кроме того, реализовано практически полное аппаратное резервирование комплекса технических средств на всех уровнях, включая среду передачи данных, что определило высокую отказоустойчивость АСУ ТП в целом.

### Программный аспект системы

При создании программного обеспечения системы перед разработчиками были поставлены три задачи: написать драйверы ввода-вывода, реализовать алгоритм управления, написать программный модуль подсистемы резервирования. Параллельно разрабатывались сервисные программы для настройки и калибровки контроллеров ввода-вывода, а также писались программные модули, которые реализуют алгоритмы расчёта расходов компонентов, участвующих в технологическом процессе получения технического углерода. В результате получено программное обеспечение, построенное по модульному принципу и содержащее несколько частей, которые взаимодействуют между собой.

Среда разработки программного обеспечения АСУ ТП была сформирована на основе пакета Wonderware Factory Suite 2000.

Управляющие станции и рабочие станции операторов-технологов функционируют под управлением операционной системы Microsoft Windows NT 4.0 Workstation (Service Pack 6a).

В качестве приложения, исполняемого на управляющих станциях и реализующего основные алгоритмы управления технологическими установками, используется управляющая система с открытой архитектурой InControl версии 7.1.

На рис. 7 представлена функциональная схема алгоритма управления технологическим процессом.

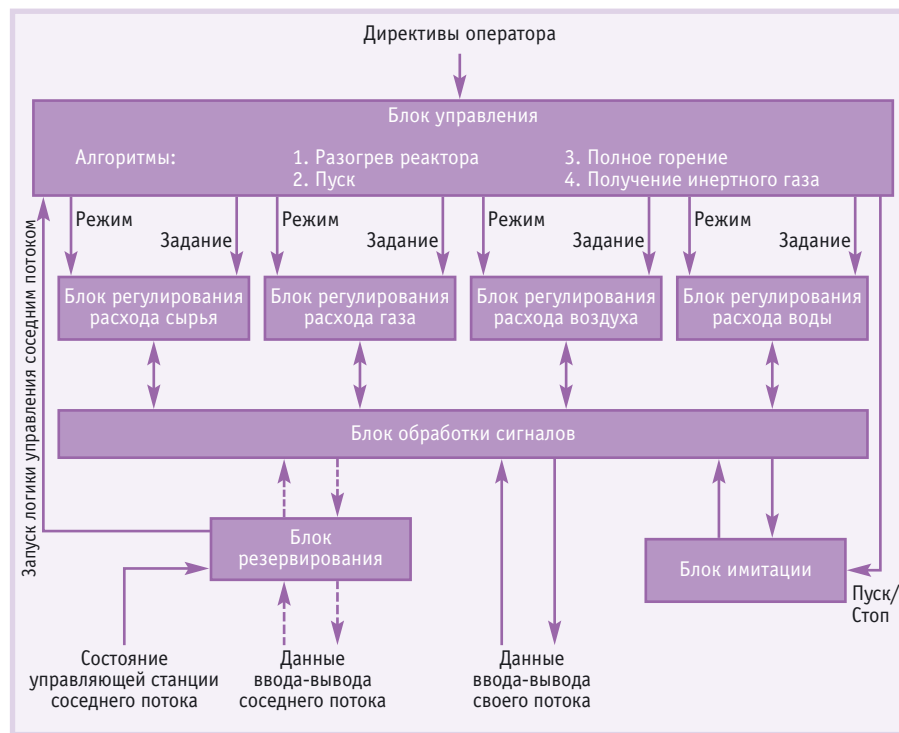


Рис. 7. Функциональная схема алгоритма управления технологическим процессом

При разработке алгоритма управления объектом автоматизации преследовалась цель сделать данный компонент системы по возможности максимально надёжным и гибким. Для достижения этих целей на каждой управляющей станции исполняются алгоритмы управления двумя потоками — своим и соседним, с помощью чего удалось реализовать эффективный способ резервирования управляющих станций.

Алгоритм управления состоит из следующих частей: четыре блока регулирования расходов, блок управления, блок обработки сигналов ввода-вывода, блок имитации и блок резервирования.

Блоки регулирования расходов представляют собой ПИД-регуляторы, являющиеся стандартными компонентами используемого пакета. Переменные регулирования — нормализованные объёмные расходы, измеряемые методом сужающего устройства; выходные параметры — степень открытия клапанов; уставки — данные, либо поступающие от оператора-технолога, либо формируемые автоматически в соответствии с выбранным режимом работы технологических установок.

Блок управления — это своего рода ядро всей логики управления технологическим оборудованием. Здесь обеспечивается безударное переключение режимов регулирования, обработка ди-

ректив, поступающих от оператора, реализация некоторых специфических режимов техпроцесса (режим удержания заданного соотношения воздух/газ, режимы замены сырьевых форсунок и прочие). Кроме того, блок управления реализует алгоритмы автоматизированного перевода технологических установок в требуемый режим работы (разогрев, пуск, получение инертного газа, режим полного горения, снятие с режима, штатная работа, авария). Перевод из режима в режим инициируется самим блоком управления либо по команде оператора-технолога.

Блок обработки сигналов осуществляет преобразование сигналов в требуемую форму. В данном блоке происходит масштабирование сигналов ввода-вывода и вычисление расходов. Расходы вычисляются по сертифицированным алгоритмам, которые реализованы в виде ActiveX-компонентов, разработанных нашими специалистами.

Блок имитации позволяет имитировать поведение объекта автоматизации и предназначен для отладки интерфейсной части проекта, а также и для обучения операторов техпроцесса.

Блок резервирования обеспечивает диагностирование отказа управляющей станции соседнего потока. В случае выявления такого отказа данный блок активизирует алгоритм управления соседним потоком, а после восста-

новления отказавшей станции возвращает ей управление процессом.

Взаимодействие программных модулей, реализующих алгоритм управления, с контроллерами ввода-вывода производится через разработанный специалистами фирмы «Эталон ТКС» драйвер, реализующий протокол обмена ModBus/TCP для связи с устройствами ADAM-5000/TCP через Ethernet.

В качестве SCADA-системы, реализующей интерфейс оператора и функции информационно-справочной системы, используется InTouch версии 7.1.

При создании интерфейса оператора перед разработчиками ставилась цель сделать работу оператора более удобной и простой. Учитывались самые разные критерии: размеры, цветовая гамма и прочее. Почти для каждого окна были предусмотрены «горячие» клавиши, чтобы оператор мог быстро и легко вызвать необходимую мнемосхему; при проектировании мнемосхем разработчики стремились сделать изображения интуитивно более понятными. Основные мнемосхемы представлены на рис. 8 и 9.

Взаимодействие программ управления технологическим процессом, исполняемых на управляющих станциях, с программными оболочками рабочих мест операторов-технологов осуществляется по протоколу SuiteLink и протоколу NetDDE, реализующему обмен данными в сети средствами Microsoft Windows.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микропроцессорная техника компании Advantech показала достаточно высокую надёжность и быстродействие при работе на разных уровнях представленной системы управления технологическими процессами. Тем не менее, в таких сложных и жёстких условиях применения, как АСУ ТП производства технического углерода, вопросы дублирования и резервирования микропроцессорной техники, какой бы высокой надёжностью она не обладала, остаются чрезвычайно актуальными, ведь даже кратковременный сбой в системе управления чреват крупными материальными издержками и серьезно отражается на качестве продукции. В силу этого в рамках АСУ ТП была реализована система резервирования, которая в ходе эксплуатации продемонстрировала высокую эффективность, обеспечивая непрерывность

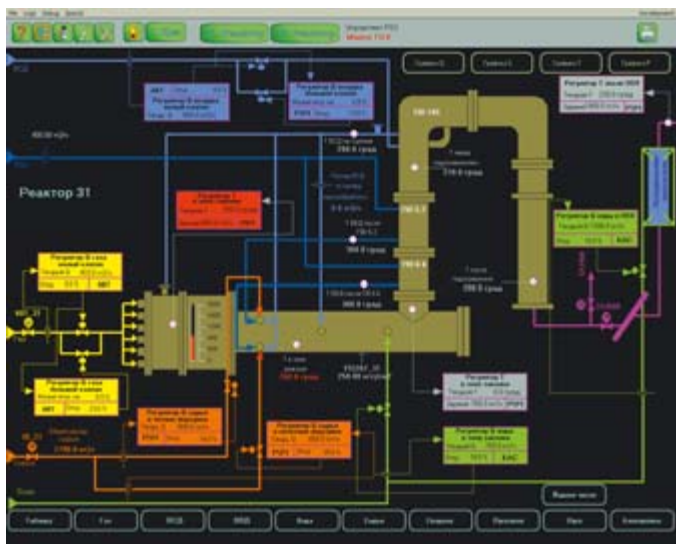


Рис. 8. Основная мнемосхема реактора

управления технологическим процессом во всех режимах.

Разработанная АСУ ТП производства технического углерода успешно эксплуатируется в ОАО «Нижнекамский завод технического углерода» уже третий год. За этот период каждая её составляющая прошла испытание жёсткими условиями производства, а система в целом показала себя гибкой, высокоэффективной и недорогой. Её стоимость существенно (в несколько

раз) ниже стоимости аналогичных систем, например Yokogawa, и при этом созданная АСУ ТП не уступает им ни по надёжности, ни по полноте функциональных возможностей.

Хочется выразить благодарность за участие в реализации проекта техническому директору ОАО «Нижнекамсктехуглерод» Анисимову С.А. и главному метрологу Костоусову В.В, без активной поддержки которых внедрение сис-



Рис. 9. Сводная мнемосхема, отображающая все основные параметры технологического процесса

темы управления могло существенно затянуться. Технические предложения и критические замечания этих людей оказали неоценимую помощь при создании системы, особенно в период пусконаладочных работ. ●

**Авторы — сотрудники  
ЗАО «Эталон ТКС»  
Телефон/факс:  
(8432) 72-1199 / 72-4383**