

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОДДЕРЖАНИЕ СОСТАВА ГАЗОВОЙ СРЕДЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БОКСАХ КОМПЛЕКСА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

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

Рассматривается реализация алгоритма автоматического поддержания состава газовой среды и разрежения в перчаточных технологических боксах комплекса экспериментальных установок, предназначенных для отработки технологии получения СНУП-топлива (проект «Прорыв» Госкорпорации «Росатом»). Внедрение данного алгоритма позволяет без участия оператора подготавливать внутрибоксовую атмосферу в соответствии с регламентными нормами и поддерживать ее на протяжении рабочего цикла.

Ключевые слова: алгоритм, газовая среда, герметичный бокс, задвижка, ПТК, разрежение, СНУП-топливо.

Герметичные перчаточные боксы с инертной средой, являясь частью аппаратного оформления технологических установок, нашли довольно широкое применение не только в лабораторных исследованиях, но и в технологических линиях производств совершенно разных отраслей промышленности: пищевой, химической, стекольной, электронной, нефтегазовой, металлургии, фармацевтике, в медицине, в тепловой и ядерной энергетике и пр. Суть применения таких технологических аппаратов заключается в том, чтобы создать и поддерживать в замкнутом пространстве инертную газовую среду в целях изоляции реакционноспособных веществ или материалов от воздействия атмосферного воздуха и тем самым создать условия для выполнения технологических операций с указанными материалами в пределах регламентных норм с обязательным обеспечением безопасности персонала. Необходимый уровень инертной среды в боксе достигается за счет вытеснения инертным газом атмосферного воздуха и откачкой газовой смеси из полости бокса. Подача инертного газа и откачка атмосферного воздуха производится через запорно-регулирующую арматуру с одновременным контролем состава среды в боксе: концентрации инертных газов или кислорода, а также влажности, если работа внутри бокса предполагает использование гидрофильных или гигроскопичных веществ. Осушение среды происходит за счет циркуляции среды по линии регенерации или за счет протока инертного газа с требуемым уровнем влаги. Диффузионные процессы и зачастую значительный объем технологических аппаратов влияют на продолжительность вытеснения среды, содержащую кислород и влагу, и подготовка атмосферы может занять значительное время. В таких случаях процесс подготовки внутрибоксовой атмосферы сопряжен с еще одним нюансом, — необходимостью соблюдения постоянства материального баланса вещества внутри камеры в определенных пределах и на протяжении всего цикла подготовки.

Несоблюдение этого условия может вызвать превышение давления внутри бокса с последующей разгерметизацией аппарата и выходом реакционноспособных или опасных веществ в зону оператора.

Из курса термодинамики и молекулярно-кинетической теории газа известно, что при постоянных объемах и при изотермических процессах давление газа внутри сосуда будет зависеть от количества вещества в единице объема, то есть от плотности газовой среды. Зависимость легко проследить из уравнения Ван-дер-Ваальса для термодинамически простой системы [1], если его решать относительно давления:

$$p = \frac{vRT}{V - vb} - \frac{av^2}{V^2},$$

где p — давление, V — объем, занимаемый газом, R — универсальная газовая постоянная, v — количество молей вещества, T — температура, a и b — коэффициенты, учитывающие соответственно уменьшение давления за счет взаимного притяжения молекул и уменьшение свободного объема за счет собственного объема молекул.

Учитывая, что для понимания сути закона сохранения баланса вещества в газовом потоке [2] можно воспользоваться упрощенным уравнением неразрывности:

$$\rho_1 S_1 v_1 = \rho_2 S_2 v_2,$$

где ρ — плотность газа, S — сечение потока, v — скорость газовой струи, а индексы обозначают входной/выходной поток вещества,

то из анализа этих уравнений становится понятным, что соблюдение материального баланса в технологических аппаратах постоянного объема можно поддерживать за счет изменения плотности газа, скорости входящего и исходящего потоков (с учетом перепада давления и температуры среды) и переменного сечения питающих и отводящих трубопроводов. В силу универсальности и простоты реализации наиболее часто для поддержания разрежения в технологиче-



ских аппаратах используют способ дросселирования, то есть регулирование потока вещества за счет изменения сечения трубопровода с помощью заслонки или задвижки. Этот принцип применяется для подготовки и поддержания газовой среды в боксах комплекса экспериментальных установок Сибирского химического комбината для целей отработки технологий производства СНУП-топлива (проект «Прорыв» Госкорпорации «Росатом»). Необходимость поддержания состава газовой среды в герметичных боксах комплекса регламентируется нормами технологического процесса, а необходимость наличия разрежения — требованиями Федеральных норм и правил [3].

Изначально предполагалось поддерживать разрежение в боксах за счет степени открытия вентиляционной задвижки при стабилизированном входном потоке инертного газа. Однако в силу ряда недостатков способа дросселирования [4] и характеристик выбранной регулирующей арматуры отмечается интенсивная работа исполнительного механизма, что снижает его рабочий ресурс. Значительно лучше с точки зрения сбережения ресурса задвижки и стабильного поддержания разрежения в боксе экспериментально показало себя дросселирование входного потока при фиксированной степени открытия вентиляционной задвижки. Но этот способ имеет ряд ограничений:

- диапазон изменения входного потока определяется сечением выходного трубопровода (степенью открытия вентиляции);

- имеется зависимость от изменения перепада давления в общем коллекторе вентиляции при подключении или отключении других потребителей, то есть от величины газодинамического сопротивления;

- ограничение накладывается в зависимости от производительности питателя газовой среды на число боксов;

- в качестве возмущающего воздействия на величину разрежения в боксе принимается во внимание только входной поток газа, в случае иной причины возмущения (например, разгерметизации, реакционного газовыделения и т.п.) этот способ регулирования разрежения не работает;

- данный способ предполагает постоянную подачу газа, что влечет к его необоснованному расходу и увеличению материальных издержек в тех случаях, когда атмосфера внутри бокса уже подготовлена для проведения технологических операций.

Учитывая опыт создания контуров регулирования по двум каналам воздействия [4, 5], принимая во внимание требования к безопасному ведению технологического процесса и руководствуясь соображениями по сбережению ресурсов, авторами был разработан алгоритм автоматического поддержания состава газовой среды и разрежения в герметичных боксах комплекса экспериментальных установок.

Алгоритм построен на принципе одновременного дросселирования входного/выходного потока инерт-

ного газа, представляет собой комбинацию нескольких логических блоков и взаимосвязанных систем стабилизации по отклонению параметров и позволяет:

- поддерживать разрежение в боксе за счет изменения входного потока инертного газа на этапе подготовки газовой среды в боксе;

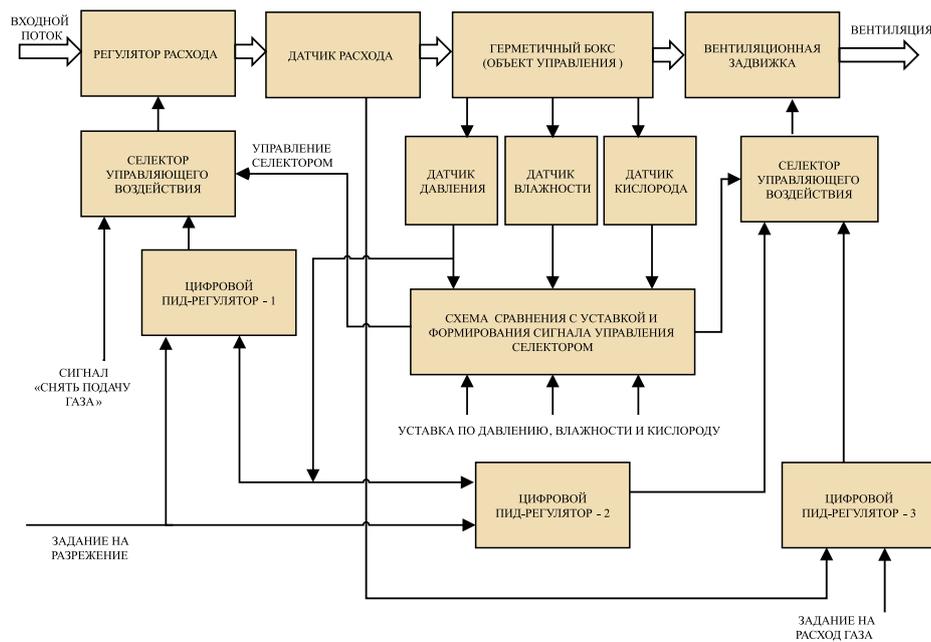
- автоматическую адаптацию рабочей точки открытия вентиляционной задвижки в зависимости от величины входного потока и изменения газодинамического сопротивления в вентиляционном коллекторе;

- реагировать на превышение заданной величины давления. При этом подача инертного газа прекращается, а разрежение поддерживается за счет дросселирования потока в отводящем трубопроводе;

- в зависимости от настроек прекратить подачу инертного газа в герметичный бокс, если оба или один из параметров среды (уровень влажности или кислорода) достигли регламентного значения;

- отсечь бокс с помощью регулирующей арматуры от трубопроводов в случае достаточного разрежения и готовности параметров среды для проведения технологического процесса.

Регулятор работает следующим образом: в режиме «автомат» схема сравнения с уставкой и формирования сигнала управления селектором (рисунок) распознает состояние газовой среды в боксе и формирует необходимый режим работы входной/выходной запорно-регулирующей арматуры. Сигнал на исполнительное устройство выдается через селектор. На этапе подготовки внутрибоксовой атмосферы, когда требуется непрерывная подача инертного газа, разрежение в боксе поддерживается работой первого ПИД-регулятора, определяющего необходимую величину расхода газа. При этом третий ПИД-регулятор автоматически выбирает и поддерживает степень открытия вентиляции (рабочей точки) в зависимости от отклонения текущего расхода газа на входе системы от заданного, это может произойти, например, при изменении газодинамического сопротивления в общем вентиляционном коллекторе. Коэффициенты и цикл работы третьего регулятора подобраны таким образом, что интенсивность работы инерционной вентиляционной задвижки на этапе подготовки газовой среды невелика. Если давление внутри бокса превысило аварийное значение или по регламентным нормам нет необходимости в постоянном протоке газа, то селектор подает на входное устройство сигнал «снять подачу газа», а состояние разрежения в боксе определяется вентиляционной арматурой, которая в этом случае получает управляющее воздействие от второго ПИД-регулятора. При нормальном разрежении, концентрации влаги и кислорода регулятор отсекает с помощью арматуры бокс от внешней среды. Таким образом герметичный бокс готов к проведению технологических операций. Несмотря на то, что по определению все три контура регулирования являются системами стабилизации по отклонению заданной величины от реальной, для строгости изложения все же следу-



Структурная схема регулятора автоматического поддержания газовой среды

ет отметить третий регулятор как следящую систему, поскольку косвенная зависимость расхода инертного газа от газодинамического сопротивления в вентиляционном коллекторе не является детерминированной, и положение вентиляционной задвижки выставляется по изменяющемуся расходу газа.

Указанный порядок работы реализован в среде графического алгоритмического программирования на платформе программно-технического комплекса УМИКОН, применяемого в локальной системе управления технологическим процессом комплекса экспериментальных установок Сибирского химического комбината. Возможности комплекса позволяют исполнять процедуру ядром процессорного модуля нижнего уровня РС100 (серия «Ока»), что дает возможность сохранить работоспособность регулятора в случае отказа рабочих станций, сетевого оборудования или контроллеров более высокого уровня.

В результате применения данной системы автоматического поддержания разрежения и состава газовой среды в герметичных боксах были решены следующие задачи:

— цикл подготовки газовой среды полностью автоматизирован и требует от оператора только выдачи с мнемосхемы команды на начало цикла в режиме «автомат»;

— в ходе цикла подготовки среды снижена интенсивность работы вентиляционной задвижки и тем самым продлевается ее рабочий ресурс;

— регулятор автоматически распознает нарушение регламентных и аварийных границ параметров и в зависимости от этого управляет входными/выходными газовыми потоками системы;

— алгоритм отсекает подачу инертного газа, если в этом нет необходимости, что позволяет снизить материальные затраты при производстве продукции;

— в случае прекращения подачи инертного газа разрежение в боксе продолжает поддерживаться за счет дросселирования вентиляционной задвижкой, таким образом соблюдается условие безопасно-

го состояния оборудования.

Следует отметить, что указанный алгоритм подготовки состава газовой среды и поддержания разрежения в боксах может применяться на любых аналогичных производствах или в лабораторных установках.

Список литературы

1. Черноуцан А.И. Краткий курс физики. М.: Физматлит. 2002. 320с.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. М.: ООО «Издательство Оникс». 2006. 1056с. Ил.
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ). НП-016-05 // Ядерная и радиационная безопасность. №4. 2015. Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности. С.27-58.
4. Ямаев А.И. Энергосберегающий алгоритм регулирования подачи воздуха и разрежения в топке отопительного котла // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. №1. С.69-71.
5. Марченко М.А., Симаков Г.М. Система регулирования разрежения в котлоагрегате по двум каналам воздействия с управляемыми асинхронными двигателями//Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2013. № 4. С. 117-122.

Колодников Игорь Александрович — ведущий специалист участка эксплуатации КИПиА,
Шишкин Алексей Викторович — инженер-конструктор по схемам автоматизации ОКБ ОГМ
АО «Сибирский химический комбинат».

Контактный телефон (3822)50-44-30.

E-mail: igor.kolodnikov@yandex.ru alex_seversk@mail.ru

Лебедев Вячеслав Олегович — канд. техн. наук, генеральный директор ООО «УМИКОН».

E-mail: lebedev-vo@yandex.ru