

1575819

Из правок рукописи
УДК 543.271

ЗЕВАКИН Евгений Александрович

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ
С ФУНКЦИЯМИ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Специальность 05.13.06 Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

З.Е.А.

Москва - 2001 г.

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана и в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского Российской Академии Наук

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Рябов В.Т.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Одиноков В.В.

технических наук

Ве

1575819

Зевакин Е.А.

За

Разработка оборудования

на

производства эле

го

2001

0.00

али

льсар"

2001 г. в 14³⁰ часов
эта Д 212. 141. 06 в Московском
ситете им. Н.Э.Баумана по
-я Бауманская ул., дом 5.
таться в библиотеке МГТУ им.

ом экземпляре, заверенный
ному адресу. Телефон для

2001 2001 г.

вета

А.С.Васильев

1575819

2001 г. Заказ № 129.
МГТУ им. Н.Э.Баумана

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1575819

Зевакин Е.А. Разработка

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Современное производство изделий электронной техники (ИЭТ) характеризуется большим разнообразием применяемых техпроцессов и материалов, многие из которых представляют серьезную опасность для здоровья обслуживающего персонала и пагубно влияют на экологическую обстановку. Применяемые при эксплуатации оборудования меры безопасности служат лишь для ликвидации последствий аварий, катастроф.

Однако, уровень развития современной техники требует иного подхода к проблеме безопасности оборудования, машин - необходимо обнаруживать причины возникновения факторов опасности и на ранних стадиях развития аварийных ситуаций предотвращать их.

Таким образом, при проектировании оборудования необходимо наряду с известными критериями производительности, надёжности, экономичности принимать во внимание новый критерий - критерий безопасности, который является не только технико-экономическим показателем, но и имеет социальный аспект.

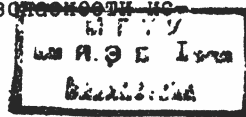
Естественно, что этот показатель будет одним из немногих критериев, на который ориентируется покупатель при приобретении конкретного варианта оборудования из множества предложенных.

Суть учёта критерия безопасности при проектировании оборудования - разработка системы обеспечения безопасности (СОБ) за счёт введения в САУ дополнительных функций обеспечения безопасности (ФОБ). Такая система должна стать неотъемлемой частью проектируемого оборудования.

Целью данной работы является создание методики разработки оборудования производства ИЭТ с введёнными в САУ специальными функциями обеспечения безопасности рабочей зоны.

В работе решаются следующие задачи: 1) обоснование необходимости разработки СОБ и введения номенклатурных функций САУ в условиях контроля безопасности обслуживающего персонала и экологической обстановки; 2) анализ влияния конструктивно-технологических параметров основных элементов СОБ на чувствительность, точность, экономичность; 3) выбор эффективных вариантов элементов СОБ и её компоновки.

Методы исследований. При обосновании необходимости разработки СОБ технологического оборудования, при разработке структуры САУ с новыми номенклатурными функциями безопасности ис-



пользовались основные положения работ по теории производительности и автоматизации Г.А.Шаумяна и Л.И.Волчкевича. Анализ конструктивных элементов блока пробоотбора СОВ установки вакуумно-термической обработки (ВТО) ртутных ламп, используемой в работе в качестве примера типового оборудования производства ИЭТ, проводился с использованием основных понятий и критериев аэродинамических дисциплин (вихревая теория, теория турбулентности, критерий О.Рейнольдса).

При исследовании различных вариантов конструктивно-технологических элементов блока пробоотбора СОВ установки ВТО ртутных ламп использовались элементы теории сорбции, понятие добротности колебательных систем.

При расчёте воздушного тракта блока пробоотбора была использована теория полного газодинамического сопротивления.

Экспериментальные исследования элементов СОВ были проведены в лаборатории прецизионного аналитического приборостроения ГЕОХИ РАН на специально разработанном стенде.

Научная новизна:

- для оборудования, эксплуатация которого представляет опасность для обслуживающего персонала и окружающей экологической обстановки, впервые предложено и обосновано применение нового критерия проектирования и выбора оборудования - критерия безопасности;

- доказана необходимость разработки и введения в оборудование впервые предложенной специальной системы оборудования - системы безопасности;

- предложена методика реализации и конструктивного исполнения системы обеспечения безопасности и её функции - функции обеспечения безопасности;

- установлено, что для обнаружения и устранения аварийных ситуаций на ранних стадиях их развития для системы обеспечения безопасности установки ВТО ртутных ламп следует использовать специальный пьезорезонансный датчик определения концентрации вредных веществ в газовой фазе, в частности, паров ртути, работающий на третьей рабочей гармонике вместо первой, что повышает его чувствительность в 2,5 раза при сохранении приемлемой толщины резонатора;

- использование шлифованной поверхности резонатора с $Ra 0,8$

вместо полированной с $\lambda_{\text{а С,4}}$ у типовых датчиков дополнительно повышает чувствительность на 50%;

– при включении побудителя расхода блока пробоотбора системы обеспечения безопасности установки ВТО ртутных ламп за 16–20 секунд до начала измерений точность определения концентрации ртути возрастает на 40%.

Практическая ценность. 1) Приведён обзор некоторых производств ИЭТ с факторами опасности, являющийся основанием для разработки СОБ соответствующего оборудования; 2) введён новый критерий проектирования (критерий безопасности), акцентирующий внимание разработчиков оборудования на создание СОБ, что позволит получить значительный экономический эффект при эксплуатации разрабатываемого оборудования; 3) предложены методы расчёта и выбора элементов СОБ и её компоновки; 4) представлено конструктивное исполнение СОБ.

Реализация результатов работы. Научные и практические результаты работы использованы при разработке рабочего проекта, изготовлении и экспериментальном исследовании блока пробоотбора СОБ установки ВТО ртутных ламп.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на заседаниях кафедры "Электронные технологии в машиностроении" МГТУ им. Н.Э.Баумана, на IV всероссийской научно-технической конференции "Состояние и проблемы технических измерений" (Москва, 1997 г.); на V всероссийской научно-технической конференции "Состояние и проблемы технических измерений" (Москва, 1998 г.); на всероссийской научно-технической конференции "Машиностроительные технологии" (Москва, 1998 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы изложены в шести печатных работах.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы. Работа изложена на 169 страницах и содержит 105 страниц машинописного текста, 63 рисунка, 24 таблицы, список литературы из 80 наименований.

Основное содержание работы

Во введении обосновывается актуальность проблемы, указываются цели и задачи работы.

В первой главе обосновывается актуальность разработки СОБ для оборудования с факторами опасности для здоровья обслуживаю-

щего персонала и окружающей экологической обстановки. Анализируются характерные технологические процессы с точки зрения их опасности.

В данной работе в качестве типового оборудования производства ИЭТ рассматривается установка ВТО ртутных ламп. Поэтому подробно описывается воздействие ртути на организм человека.

Показывается, что при разработке оборудования для производства ИЭТ основное внимание уделяется таким показателям, как производительность, надёжность, экономичность. Вопросы безопасности при таком подходе к проектированию оборудования отодвигаются на второй план и сводятся, в основном, к формальным инструкциям по безопасности труда для обслуживающего персонала, необходимости защитной одежды, наличию защитных скафандров, элементарному контролю пространства производственных помещений на наличие опасных загрязнений и излучений. Однако, этих мер для безопасной работы оборудования крайне недостаточно. Необходимо вопросы безопасности рассматривать уже на этапе проектирования.

При проектировании нового оборудования известна требуемая производительность (она задаётся в техническом задании на проектирование); по опытным данным закладывается ожидаемая надёжность отдельных элементов, узлов, механизмов, подсчитываются отдельные затраты. Но нигде не учитывается безопасность оборудования для обслуживающего персонала в рабочей зоне. Необходимо фактор безопасности связать с производительностью, т.е., производительность оборудования будет в этом случае зависеть от безопасности рабочей зоны для обслуживающего персонала.

Что же такое безопасная работа оборудования, машины для обслуживающего персонала? Как известно, работа машины может происходить по трём "сценариям":

- 1) машина работает, продукция выдаётся;
- 2) машина работает, но продукция не выдаётся (в этом случае может иметь место отказ элементов машин);
- 3) машина работает, продукция выдаётся, но параметры продукции не соответствуют установленным — отказ по параметрам. Причина таких отказов — нарушение режима технологического процесса.

Возможен и четвёртый "сценарий", который не предусмотрен

существующей теорией производительности: машина работает, выдаётся продукция, соответствующая установленным параметрам, но обслуживающий персонал не может участвовать в производственном процессе из-за наличия фактора опасности (загазованность, вредное излучение, высокая температура, сильная вибрация и т.п.) как для здоровья, так и для окружающей среды. Для такого варианта работы машины можно ввести термин отказ (потери) по безопасности.

Далее вводится понятие коэффициента безопасности. Коэффициент безопасности (критерий безопасности) оборудования учитывает потери производительности оборудования из-за возникновения фактора опасности в рабочей зоне (вероятность безопасной работы оборудования при заданных режимах и условиях). Очевидно, что чем меньше будут простои по безопасности, тем больше будет коэффициент безопасности.

Таким образом, если сравнить два варианта однотипного оборудования при условии, что вариант I - оборудование без элементов безопасности для обслуживающего персонала, вариант II - оборудование оснащено элементами безопасности, то оборудование по варианту II будет более производительным, чем оборудование по варианту I, т.к. потери по безопасности у варианта II будут меньше, чем у варианта I.

Показывается, что затраты живого труда на более безопасном оборудовании будут меньше. Это можно объяснить тем, что в случае, когда проявляется фактор опасности, обслуживающий персонал (операторы, наладчики) может заболеть, получить травму и т.д. В этом случае вышедший из строя обслуживающий персонал должен получать заработную плату по больничному листу или пожизненную компенсацию вследствие полученной инвалидности, а для обслуживания оборудования необходимо нанимать временный персонал, т.е., идут двойные затраты живого труда.

Критерий безопасности является не только технико-экономическим показателем, но имеет и социальный аспект, который в настоящее время является наиболее весомым: при выборе из двух или нескольких вариантов однотипного оборудования потребитель отдаёт предпочтение более безопасному, т.е., имеющему более высокий критерий безопасности (более низкие потери по безопасности).

Далее даётся обоснование введения новых функций САУ. Современное оборудование производства ИЭТ в связи с большой номенклатурой выпускаемых изделий и громадным числом применяемых технологических процессов отличается многофункциональностью. При переходе на выпуск новых изделий оборудование совершенствуется, модифицируется или проектируется заново. Однако, основное назначение любого оборудования остаётся неизменным: выпуск высококачественной продукции, что достигается строгим соблюдением режимов технологических процессов и их постоянной оптимизацией. В современном оборудовании эту функцию выполняет САУ, которая также непрерывно развивается и совершенствуется.

При проведении технологических процессов часто происходят отказы, аварии, возникают ситуации, представляющие опасность для здоровья и жизни обслуживающего персонала, для окружающей среды.

Можно привести много примеров катастроф, аварий, чрезвычайных ситуаций (взрывы на промышленных предприятиях, утечки вредных веществ, пожары, радиоактивное заражение, облучение и т.д.). Здесь мы имеем дело с обратной стороной научно-технического прогресса. Возникает проблема не столько техническая, сколько социально-экономическая: гибнут люди, наносится огромный ущерб окружающей природе.

Для предотвращения этих опасных явлений и происшествий при проектировании оборудования необходимо вводить критерий (коэффициент) безопасности. Оборудование, разработанное с учётом критерия безопасности, должно иметь специальную систему обеспечения безопасности, которая бы, отслеживая динамику всех опасных процессов и принимая соответствующие действия, предотвращала бы аварии, отказы и чрезвычайные ситуации на ранней стадии их развития.

Система обеспечения безопасности интегрирована в само оборудование и имеет как общие с ним элементы, так и свои индивидуальные. Система управления СОВ также интегрирована в САУ оборудования и является подсистемой САУ.

Конечным (или начальным) элементом САУ служит датчик (их может быть несколько), который является основным источником информации для САУ.

Получая от датчиков информацию, САУ СОВ обрабатывает её, используя одновременно данные, заложенные в программу, просчи-

тызает динамику контролируемого процесса и в случае изменения динамики процесса в сторону ухудшения принимает соответствующие решения и выдаёт управляющие сигналы для выполнения необходимых действий и процессов, предотвращающих факторы опасности. Эту функцию САУ СОВ можно назвать функцией обеспечения безопасности.

Можно утверждать, что любое сложное технологическое оборудование (машина, устройство и т.п.) с факторами опасности для обслуживающего персонала является морально устаревшим, если оно не имеет вышеописанной системы обеспечения безопасности.

В заключении главы формулируется цель работы и ставятся задачи.

Вторая глава посвящена этапам разработки СОВ оборудования производства ИЭТ. Перед выбором метода определения степени опасности процесса производства ИЭТ необходимо тщательно проанализировать технологические процессы, реализуемые на рассматриваемом оборудовании. Следующим этапом является подбор всех возможных методов определения выявленных факторов опасности. Затем необходимо критически проанализировать подобранные методы с целью выявления наиболее приемлемых для рассматриваемого случая. Например, при проведении техпроцессов на установке ВТО ртутных ламп возможны прорывы паров ртути в атмосферу производственного помещения, что является фактором опасности. Очевидно, что методом определения степени опасности будет в данном случае какой-либо из методов определения концентрации веществ в газовой фазе. Причём, чувствительность метода должна быть высокой. Показывается, что чем больше чувствительность используемого в СОВ метода, тем больше коэффициент безопасности оборудования. Далее приводятся краткий обзор и характеристики этих методов.

Показывается, что наиболее приемлемым методом является пьезорезонансный метод, основанный на явлении изменения собственной частоты кварцевого резонатора при изменении массы возбуждённых электродов. Изменение частоты резонатора происходит по определённой зависимости от изменения массы электродов.

Имея характерную зависимость частоты резонатора от массы электродов при некоторых определённых внешних условиях, можно,

измерив собственную частоту резонатора, определить массу его электродов, и наоборот – по массе электродов определить его собственную частоту. Задача состоит в том, чтобы на электроды резонатора осаждалось искомое вещество. Для этого необходимо воспользоваться процессом сорбции.

Одно из важнейших требований к сорбентам – их хорошая селективность к определяемым веществам. Сорбент должен поглощать измеряемое вещество. Если же происходит сорбция и других веществ, то снижается точность измерений.

Делается вывод о том, что пьезорезонансный метод является наиболее приемлемым для определения концентрации ртути. Он не требует специальных веществ, реактивов, ёмкостей; экономичен, не требует продолжительного времени для проведения измерений, точен и высокочувствителен.

Разработку СОБ необходимо производить параллельно с разработкой технологического оборудования и проработкой техпроцесса. Представив себе подробно суть процессов, происходящих в СОБ, разрабатывают её алгоритм работы, функциональную схему и структуру. Этот этап разработки показывается на примере СОБ установок ВТО ртутных ламп.

Приводится функциональная схема измерительной части СОБ и описывается назначение её элементов. Выбирается вариант установки измерительных узлов СОБ в местах наиболее вероятного прорыва паров ртути. В этом случае СОБ будет получать информацию о загрязнении воздуха практически из всех наиболее опасных мест и в случае опасности вызывать соответствующие действия. Затем увязывают алгоритмы работы с функциями безопасности.

Функция безопасности включает в себя:

а) выявление фактора опасности на ранней стадии его развития (в случае установки ВТО ртутных ламп выявлением фактора опасности является обнаружение наличия прорыва паров ртути из установки в атмосферу производственного помещения);

б) определение конкретной точки технологического оборудования с фактором опасности (определение конкретного места прорыва ртути на установке ВТО ртутных ламп);

в) определение степени опасности и динамики изменения параметра опасности (в случае установки ВТО ртутных ламп – определение концентрации паров ртути в конкретной точке установки и

характер её изменения);

г) выдача информации оператору;

д) выдача управляющих сигналов на проведение экстренных мер по ликвидации аварии и их последствий).

В заключении главы приводится комплексная принципиальная схема оборудования, где воедино собраны и логически увязаны конструктивная упрощённая схема оборудования, потоки материальные, энергетические, информационные, выделены все важнейшие системы. С помощью комплексной принципиальной схемы можно довольно просто определить места на оборудовании, где возможны нежелательные взаимные влияния отдельных систем, элементов устройств, что может привести к возникновению новых факторов опасности, которые практически невозможно определить при анализе отдельных систем без учёта их взаимовлияния. Например, на пути трубопровода с кислородом могут быть расположены электро-механические элементы, при работе которых возможно искрение, что при возникновении утечек кислорода может привести к взрыву. Могут быть случаи неправильного взаиморасположения рядом стоящих блоков пробоотбора, которые из-за взаимодействия своих воздушных потоков будут выдавать неверную информацию о концентрации ртути, что может приводить к ложному срабатыванию ССБ.

В третьей главе даётся анализ влияния конструктивно-технологических параметров основных элементов ССБ на чувствительность, точность, экономичность. На эффективную работу ССБ влияет множество разнообразных факторов, из которых необходимо выделить наиболее важные и исследовать их влияние на выходные параметры ССБ. Важнейшая задача, которую необходимо решить при разработке ССБ — эффективная реализация метода, заложенного в работу системы безопасности.

Важнейшим элементом ССБ является датчик, чувствительность и точность показаний которого определяют эффективность работы всей системы. В качестве примера подробно исследуется датчик ССБ установки ВТО ртутных ламп. Рассматривается влияние конструктивных параметров этого датчика и технологических параметров процесса измерения на эффективную работу ССБ установки ВТО ртутных ламп.

Показывается, что при измерении концентрации веществ пьезорезонансным методом необходимо учитывать тот факт, что в воз-

духе всегда содержатся пары воды. И вода хорошо сорбируется многими сорбентами, в том числе и золотом. В зависимости от влажности воздуха, показания блоков пробоотбора СОБ будут различными, что сказывается на точности измерений. Далее теоретически доказывается и экспериментально подтверждается, что нужно начинать измерение концентрации через 16 – 20 секунд после начала прохождения влажного воздуха через измерительную камеру СОБ (или включить побудитель расхода за 16 – 20 секунд до начала измерений). В этом случае за результат измерения влажность воздуха влияния не оказывает.

Затем описывается повышение чувствительности системы обеспечения безопасности за счёт перехода на другие частотные гармоники. Показывается, что основным методом повышения масс-чувствительности является увеличение рабочей частоты. Однако, эта возможность не безгранична, т.к. с ростом частоты уменьшается основной резонансный размер – толщина. В этом случае можно использовать для повышения масс-чувствительности при сохранении прежней толщины возбуждение резонатора на высших гармониках. Показывается, что максимум чувствительности приходится на диапазон 10 – 100 МГц. Значит в этой зоне необходимо производить все измерения. Левее этой зоны сказываются тепловые шумы кристаллов, а правее (более 100 МГц) "шумят" транзисторы высокочастотных генераторов. Наиболее целесообразно работать на III гармонике, т.к. шумы транзисторов для этой гармоники минимальны. Толщина резонаторов для этой зоны также технологически выполнима.

Затем исследуется влияние микронеровностей поверхностей датчика-резонатора на чувствительность системы обеспечения безопасности. Показано, что реально имеет место увеличение количества сорбируемых молекул вследствие увеличения активной площади электродов с учётом микроструктуры поверхности. Т.е., имеет место увеличение массы при той же величине проекции площади электродов на плоскость кристалла. Если такая трактовка справедлива, то она должна быть доказана экспериментально. С этой целью были проведены испытания для резонаторов с базовыми частотами 15 и 36 МГц. Часть резонаторов была выполнена с полированной поверхностью, а часть – со шлифованной, т.е., с более развитой поверхностью.

Испытания шлифованных резонаторов на 36 МГц показали увеличение чувствительности примерно в 9 раз по сравнению с ранее разработанными резонаторами на частоту 15 МГц. Рост чувствительности из-за повышения частоты должен был составить $(36/15)^2 = 5,8$. Следовательно, увеличение чувствительности вследствие изменения микронеровностей (микроструктуры) поверхности составит $9/5,8 = 1,5$.

Теоретические рассуждения показывают, что чувствительность резонатора с полированной поверхностью в 1,4 раза меньше чувствительности резонатора с поверхностью после чистового шлифования. А чувствительность резонатора с предварительно шлифованной поверхностью в 1,5 раза больше чувствительности резонатора с полированной поверхностью. При дальнейшем повышении шероховатости чувствительность снижается. Это явление можно объяснить тем, что с ростом шероховатости резонатора понижается его добротность, т.е., растут потери накопленной в резонаторе энергии. Эти потери связаны, в основном, с протеканием тока по поверхности электродов. Таким образом, поверхность датчика должна иметь обработку, соответствующую чистовому шлифованию.

Далее рассматривается влияние скорости потока анализируемого воздуха на чувствительность и экономичность системы обеспечения безопасности. Показано, что с увеличением скорости увеличивается число молекул, находящихся в единицу времени над единицей площади сорбента. Поэтому вероятность сорбции растёт. Течение в данном случае ламинарное.

С увеличением скорости потока до критического значения (начало турбулентного характера движения) начинается перемещение молекул из других слоёв. Одни и те же молекулы по нескольку раз сталкиваются с подложкой. Сорбция растёт. Но при скорости больше критической молекулы получают столь значительный запас кинетической энергии, что новые молекулы из соседних слоёв не успевают осесть на сорбенте, а пролетают мимо него. Наступает динамическое равновесие между процессами сорбции и десорбции. Происходит вихреобразование. Дальнейший рост скорости потока не способствует увеличению сорбции. Поэтому скорость потока должна быть близкой к критической. При скорости, большей критической, падает экономичность ССБ, т.к. с ростом скорости растёт потребляемая энергия, а чувствительность остаётся неизменной.

Таким образом, скорость потока около резонатора должна соответствовать началу турбулентного движения.

В четвертой главе рассматривается выбор эффективных вариантов основных конструктивных элементов системы обеспечения безопасности. При подборе отдельных элементов обычно руководствуются их влиянием на эффективность работы системы, а также такими общими для всех элементов параметрами, как габариты, вес, сложность изготовления и т.д.

При разработке большинства элементов системы безопасности (измерительных камер, каналов для воздушных потоков и т.п.), а также при выборе структурно-компоновочных вариантов стремятся избежать излишних потерь при прохождении пробы анализируемого воздуха через блок пробоотбора, а также спроектировать аэродинамический тракт таким образом, чтобы течение массы воздуха около рабочей поверхности пьезорезонатора было турбулентным (турбулентный поток повышает чувствительность устройства).

Приводится порядок расчёта аэродинамического тракта. В результате проведения ряда преобразований определяют скорость потока около резонатора. По критерию С.Рейнольдса определяют характер течения (турбулентный или ламинарный). При необходимости корректируют форму и размеры аэродинамического тракта.

Затем описывается конструкция датчиков-резонаторов. Именно датчик во многом определяет выходные технико-экономические показатели ССБ. Сравниваются два датчика (корпусной и бескорпусной) по экономичности, газовыделению, массе, габаритным размерам. Рассматривается вопрос регенерации датчиков.

Заключение главы посвящается вопросам анализа и выбора конструкции измерительной камеры блока пробоотбора ССБ. В измерительной камере происходит процесс сорбции определяемого вещества электродами резонатора. Конструкция камеры во многом определяет показатели всей ССБ.

При проектировании измерительной камеры необходимо четко уяснить все физические процессы, происходящие в камере при проведении измерений. Необходимым условием при проектировании измерительной камеры является правильный выбор материала. Наилучшим материалом для камеры является фторопласт. Показывается, что необходимо правильно назначать точность размеров и шероховатость поверхности, ибо эти показатели в значительной степени

влиняют на аэродинамические потери. Приводится оценка формы элементов камеры с точки зрения аэродинамики.

В заключении главы приводится ряд вариантов измерительных камер. Каждый вариант кратко характеризуется расчётными данными по аэродинамическим потерям, газовыделению, габаритным размерам и массе. Анализируются преимущества и недостатки каждого варианта и обосновывается выбор наилучшего из них.

Пятая глава посвящена анализу и выбору рациональных структурно-компоновочных вариантов СОВ на примере установки ВТО ртутных ламп. Приводятся основные характеристики и результаты испытаний измерительного блока СОВ.

Отмечается, что любая СОВ (или её основная часть) может быть реализована в нескольких структурно-компоновочных вариантах (СКВ). СКВ оказывает значительное влияние на основные показатели СОВ. Подробно разбирается СКВ измерительной части (блока пробоотбора) СОВ установки ВТО ртутных ламп.

Важнейший элемент блока пробоотбора — воздушный канал, по которому воздух проносится от места взятия пробы через измерительную камеру с установленным пьезорезонансным датчиком к выходу из блока пробоотбора в окружающую атмосферу или в специальный приёмник проб. В качестве материала канала обычно применяется фторопласт, который, являясь химически нейтральным, обладает малым газовыделением и малой сорбционной способностью. Приведены в качестве примеров несколько вариантов каналов, пример расчёта и результаты выбора наилучшего варианта. Затем рассмотрены разработка и выбор блока пробоотбора. Показывается, что компоновка зависит от характера сорбционного процесса, от вида сорбируемых веществ, от процесса десорбции, вида побудителя расхода. Приводится несколько вариантов компоновок, даётся подробный анализ каждого варианта, приводятся результаты расчёта каждого варианта по газовыделениям, по аэродинамическим потерям, массе, габаритам.

Важным элементом, который необходимо учитывать при компоновке, является направление движения анализируемой пробы через побудитель расхода. Наилучшим вариантом является такой, когда проба воздуха сначала проходит измерительную камеру, а затем побудитель расхода, т.е., побудитель расхода работает на всасывание. В этом случае материал побудителя расхода может быть лю-

бим. Если проба воздуха проходит сначала побудитель, а затем измерительную камеру, то материал побудителя должен быть химически нейтральным.

Основная часть ССБ – измерительная (блок пробоотбора) – исследуется, испытывается и калибруется на специально разработанном стенде, который состоит из трёх основных частей: 1) газового контура для приготовления воздушных смесей ртути; 2) оптической части (фотометра) для измерения содержания ртути с высокой точностью; 3) автоматизированного комплекса сбора и обработки экспериментальных данных, разработанного на базе восьмизрядного микрокомпьютера. Комплекс проводит следующие операции: съём сигналов от фотоприёмника в фотометре, их усиление, преобразование в двоичный код и ввод данных в микроЭВМ; измерение частоты генератора с пьезорезонансным датчиком и ввод данных в микроЭВМ; формирование данных в виде, удобном для хранения в памяти микроЭВМ. Автоматизированный комплекс позволяет повысить точность измерений и значительно ускоряет процесс обработки и оформления экспериментальных данных.

В заключении главы приводятся основные характеристики ССБ. Так, например, рабочий диапазон концентрации ртути: $0,001 - 1 \text{ мг/м}^3$; диапазон высоких содержаний: $0,01 - 10 \text{ мг/м}^3$; уровень частотных шумов ($0,1 - 10 \text{ Гц}$) обеспечивает предел обнаружения $0,5 - 0,7 \text{ нг/см}^2$. Температура нагрева $50 - 150^\circ\text{C}$; потребляемая мощность – 15 Вт ; рабочая температура окружающего воздуха $+5 - +50^\circ\text{C}$.

Результаты испытаний показывают, что абсолютная погрешность измерений не превышает 16% , что при полученном пределе обнаружения в десятки доли нг/см^2 является вполне приемлемым.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. При производстве ИЭТ многие применяемые технологические процессы и материалы представляют серьёзную опасность для здоровья обслуживающего персонала и пагубно влияют на окружающую экологическую обстановку. Однако, в существующем и проектируемом оборудовании производства ИЭТ вопросам безопасности труда не уделено достаточного внимания.

2. При разработке оборудования производства ИЭТ за основной критерий выбора технических решений наряду с производительностью, надёжностью и экономичностью следует применять кри-

терий безопасности, который влияет не только на технико-экономические показатели, но и имеет социальный аспект. Аппаратная поддержка обеспечения безопасности реализуется за счёт обязательного введения в оборудование ССБ, программная поддержка ССБ обеспечивается за счёт введения в САУ специальных функций обеспечения безопасности.

3. Функция обеспечения безопасности должна представлять собой упорядоченную последовательность действий, одинаковую для любого оборудования с факторами опасности: а) выявление фактора опасности в начальной стадии его развития; б) определение с заданной точностью конкретной точки технологического оборудования, где реально возник фактор опасности; в) определение в выявленной точке степени опасности и динамики процесса изменения параметров опасности; г) экстраполирование значений параметров опасности на ближайший временной интервал; д) выдача информации оператору и выработка управляющих сигналов для отдельных элементов и узлов оборудования на проведение экстренных мер по предотвращению аварий или ликвидации их последствий, если аварии всё же произошли.

4. Эффективность работы ССБ определяется возможностью обнаружения и устранения аварийных ситуаций на ранних стадиях их развития. Для ССБ установки ВТО ртутных ламп и другого технологического оборудования, работа которого связана с выделением вредных веществ в газовой фазе, следует использовать разработанный пьезорезонансный датчик определения концентрации вредных веществ, в частности, паров ртути.

5. Датчик следует настраивать на третью рабочую гармонику вместо первой, что повышает его чувствительность в 2,5 раза при сохранении приемлемой толщины резонатора.

6. Использование резонатора со шлифованной поверхностью с $Ra\ 0,8$ вместо полированной с $Ra\ 0,4$ у типовых датчиков дополнительно повышает чувствительность на 50%.

7. Побудитель расхода блока пробоотбора следует включать на $t_6 - 20$ секунд раньше запланированного проведения измерения концентрации вредных веществ, что повышает точность измерения на 40%.

8. Наиболее приемлемой конструкцией датчика-резонатора ССБ установки ВТО ртутных ламп является бескорпусной вариант,

повышающий точность и экономичность за счёт применения специальной цельной камеры из фторопласта с минимальным внутренним объёмом. Побудитель расхода должен быть расположен после измерительной камеры.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. Зевакин Е.А. Влияние компоновки блока пробоотбора на технико-экономические показатели оборудования для газоанализа пьезорезонансным методом // Контроль. Диагностика. - 2000. - № 4. - С. 43 - 44.

2. Зевакин Е.А. Некоторые проблемы оптимизации конструктивных элементов блока пробоотбора оборудования для измерения концентрации вредных веществ в газовой фазе пьезорезонансным методом // Состояние и проблемы технических измерений: Тезисы докладов четвёртой всероссийской научно-технической конференции. - Москва, 1997. - С. 338 - 339.

3. Зевакин Е.А. Некоторые пути повышения чувствительности оборудования для определения концентрации веществ в газовой фазе пьезорезонансным методом // Состояние и проблемы технических измерений: Тезисы докладов пятой всероссийской научно-технической конференции. - Москва, 1998. - С. 213.

4. Зевакин Е.А. Новый подход к проблеме повышения чувствительности оборудования для определения концентрации вредных веществ в газовой фазе пьезорезонансным методом // Машиностроительные технологии: Тезисы докладов всероссийской научно-технической конференции. - Москва. - С. 18С.

5. Зевакин Е.А. Оборудование для определения концентрации вредных веществ в газовой фазе пьезорезонансным методом // Контроль. Диагностика. - 1998. - № 3. - С. 14 - 17.

6. Зевакин Е.А. Требования к измерительной камере оборудования для газоанализа пьезорезонансным методом // Контроль. Диагностика. - 1998. - № 6. - С. 22 - 25.