

Система управления охватывает два эндогенератора ЭН-125 и состоит из промышленного контроллера ADAM 5510M с модулями ввода-вывода ADAM 5090 с четырьмя интерфейсами RS-232 и ADAM 5069 с восемью реле, газоаналитического модуля– газоанализатора CO₂, CO, CH₄ с двумя газовыми электроклапанами, предназначенными для коммутации проб эндогазовой атмосферы. Текущее значение оксида, диоксида углерода и метана отображается на электронном табло панели шкафа управления.

Система работает следующим образом. Пробы эндогаза от эндогенераторов поочередно поступают через газовые электроклапаны на модуль газоанализатора. По интерфейсу RS-232 величина содержания оксида, диоксида углерода и метана в соответствующем эндогенераторе через модуль ввода-вывода ADAM 5090 поступает на процессор промышленного контроллера, где текущее значение диоксида углерода сравнивается с заданной величиной.

Другие два компонента CO и CH₄ являются информационными величинами, говорящими о качестве эндогаза и о состоянии катализатора эндогенератора соответственно.

Программа в промышленном контроллере формирует сигнал управления, который поступает по цифровому каналу на соответствующий газовый контроллер, который изменяет в ту или иную сторону расход природного газа, поступающего на эндогенератор. Система управления позволяет в заводских условиях поддерживать

УДК 629.114.3.533.6

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОДИНАМИКИ АВТОПОЕЗДОВ

Виленчиц Б.Б., Попов В.К., Шаронов Г.В.

*Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко
Минск, Республика Беларусь*

Аэродинамическая доводка, особенно на первой стадии проектирования автопоезда, ведется, как правило, в аэродинамических трубах. Но поскольку магистральные автопоезда отличаются значительными габаритами, особенно длиной, размещение и испытание в аэродинамических трубах их натуральных образцов практически трудно выполнимы.

В связи с этим в аэродинамических трубах испытываются масштабные модели автопоездов, а затем осуществляется проверка полученных результатов с помощью дорожных испытаний аэродинамических характеристик натуральных образцов, их элементов, узлов и агрегатов [1]. В этом случае весьма эффективно использование бортовой информационно-измерительной системы, позволяющей измерять распределение давления на различных участках поверхности

заданный уровень диоксида углерода с точностью до $\pm 0,025\%$.

Выбранный подход и технические средства автоматизации оказались достаточно эффективными и универсальными для целого ряда термического оборудования для химико-термической обработки стали. В частности были осуществлены проекты по автоматизации процессов цементации в камерных печах Pekat 2.3 с подачей эндогаза и природного в качестве карбюризатора и шахтных печах типа СШЦМ и Ц-105, где в качестве карбюризатора применялись природный газ или жидкие углеводороды.

Разработанные и внедренные на предприятиях машиностроительного комплекса Республики Беларусь автоматические системы управления технологическими процессами химико-термической обработки металлов позволили модернизировать существующее оборудование ряда предприятий и повысить качество продукции, снизить ее энергоемкость и себестоимость. Опыт эксплуатации автоматических систем управления показал, что, при относительно небольшой стоимости работ, описанный в выше базовый комплект измерительных, исполнительных устройств и средств автоматизации позволяет создавать весьма надежные в работе в цеховых условиях системы управления, охватывающие достаточно большой спектр оборудования и технологий химико-термической обработки металлов.

автопоезда с помощью малогабаритных датчиков давления.

С целью обеспечения оперативности и расширения функциональных возможностей в состав аппаратуры входит бортовая информационно-измерительная система, предназначенная для сбора исходной аэродинамической информации, и программное обеспечение, позволяющее обрабатывать получаемые данные, как на бортовом, так и на стационарном компьютере. Требование обработки данных на бортовом компьютере обусловлено проведением в процессе эксперимента оценки информативности результатов для оперативной корректировки и, в случае необходимости, программы исследований и условий протекания анализируемых процессов.

Из-за большого количества первичных малоинерционных преобразователей (датчиков давления) использовались промежуточные микропро-

цессорные модули и древовидная структура каналов их связи с бортовым компьютером, основой которой является мультиплексор. Бортовой компьютер через мультиплексор управляет работой микропроцессорных модулей, к которым подключены датчики давления. Количество применяемых микропроцессорных модулей зависит от площади исследуемых элементов автопоезда, а количество измерительных каналов достигает 96.

Для расширения функциональных возможностей процесса сбора информации предусмотрена возможность накопления данных внутри микропроцессорных модулей. Это позволяет одновременно снимать данные со всех датчиков, после чего поочередно передавать их в бортовой компьютер.

Вследствие имеющихся ограничений на скорость передачи данных стандартных каналов обмена информацией, используется последовательный способ передачи информации. Компьютер, управляя мультиплексором, последовательно передает управляющие команды и задания микропроцессорным модулям, а после их выполнения поочередно получает накопленные модулями данные.

Решаемые с помощью этого комплекса задачи можно разделить на две группы: определение осредненных характеристик распределения давления воздушного потока и определение характеристик мелкомасштабных флуктуаций давления.

Первая группа задач не требует проведения согласованных во времени выборок анализируемых процессов и позволяет проводить накопления некоррелированных выборок. Поэтому возможен выбор длительности периода реализации и объема их накопления, а также различные варианты опроса микропроцессорных модулей и, соответственно, датчиков давления. Например, можно последовательно друг за другом исследовать заданные элементы автопоезда, или осуществлять эти исследования параллельно, заранее определив по пропускной способности каналов связи длительность реализации процесса.

Для другой группы задач требуется получение коррелированных по времени и поверхности измерений и, соответственно, достаточно высокой частоты их опроса - порядка нескольких кГц. Причем эти измерения должны производиться синхронно, что требует от микропроцессорных модулей проведения согласованных во времени операций по получению данных с датчиков давления.

Одним из методов снижения аэродинамического сопротивления автомобилей является применение внешних устройств, позволяющих без изменения формообразующих элементов кабины улучшить ее обтекаемость. Отработка формы и применение внешних аэродинамических

устройств позволили к настоящему времени довести значения коэффициента аэродинамического сопротивления для магистральных автопоездов до величины $C_x = 0,5 - 0,6$. Аэродинамическое сопротивление транспортного средства складывается из: лобового сопротивления, сопротивления внутренних потоков воздуха в системах охлаждения двигателя и вентиляции кабины и кузова, индуктивного сопротивления и дополнительного сопротивления, связанного с наличием на поверхности кабины и кузова небольших конструктивных элементов, таких как зеркала заднего вида, антенны, дверные ручки, стеклоочистители, поворотные фонари, кондиционеры и т.д. Такого вида элементы трудно поддаются какому-либо моделированию, и их вклад в общее значение аэродинамического сопротивления автопоезда может быть оценен, как правило, только путем натурального эксперимента [2].

Одной из первых задач, для решения которой была использована бортовая информационно-измерительная система, была задача определения поля давления набегающего потока воздуха на фронтальной решетке кондиционера, установленного на крыше кабины МАЗа, и его изменения, при установке штатного спойлера над лобовым стеклом кабины с целью определения влияния последнего на режим работы кондиционера.

Предусматривалось три параллельных испытания на одной скорости движения, которая была определена в 80 км/ч, при движении автомобиля в одну сторону шоссе и столько же измерений, при движении автомобиля в обратную сторону, с последующим осреднением результатов по ансамблю реализации. Такая схема измерений и их обработки позволяла избавиться от возможного влияния ветровых потоков на результаты измерений. Как уже было сказано, измерения проводились с целью определения влияния спойлера над лобовым стеклом кабины автомобиля на условия обтекания корпуса кондиционера, поэтому измерения проводились, соответственно, со спойлером и без него по описанной выше методике.

Из литературных данных [1] известно, что при обтекании кабины автомобиля в зоне его крыши образуется область с пониженным статическим давлением, что говорит об отрыве воздушного потока от плоскости крыши. Для исключения такого явления применяют установку внешних аэродинамических устройств, так называемых спойлеров. Для отбора давления набегающего воздушного потока была изготовлена решетка, в узлах которой располагались трубки отбора. Решетка с трубками отбора давления устанавливалась так, чтобы трубки отбора давления были ориентированы параллельно движению автомобиля и охватывали равномерно всю исследуемую площадь. Таким образом, дав-

ление набегающего потока отбиралось в нужных точках по площади фронтальной решетки кондиционера, передавалось на датчики давления и регистрировалось измерительной системой.

Обработка результатов измерений распределения давления набегающего потока воздуха позволила отметить существенное изменение картины обтекания, которое вносит установка спойлера на кабине автомобиля. На основании измерений полей давлений набегающего потока были выработаны рекомендации по изменению геометрии спойлера.

Описанная выше информационно - измерительная система была внедрена на Минском автомобильном заводе, неоднократно применялась

УДК 537.58:621.891

АЛГОРИТМ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ ЖЕЛЕЗА В КРЕМНИИ

Воробей Р.И.¹, Гусев О.К.¹, Жарин А.Л.¹, Петлицкий А.Н.², Пилипенко В.А.², Тявловский А.К.¹, Тявловский К.Л.¹, Свистун А.И.¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь

В соответствии с современными требованиями, допускаемые значения концентрации посторонних примесей в полупроводниковой пластине не должны превышать 10^9 атомов/см³. Наиболее значимыми примесями, значительно ухудшающими характеристики полупроводниковых устройств, являются железо и никель. Их источником в большинстве случаев являются трущиеся поверхности элементов технологического оборудования, изготовленных из стали.

Преимущества разрабатываемой методики контроля примеси железа в кремнии на основе методов зондовой электрометрии заключаются в высокой чувствительности, отсутствии необходимости подготовки поверхности перед контролем либо создания особых условий для образца (в частности, вакуумирования), возможности регистрации пространственного распределения примеси железа (построения карты распределения примеси по поверхности пластины), отсутствии разрушающих воздействий на образец, что позволяет после контроля вернуть пластину в технологический процесс. В основу методики положено двукратное измерение распределения времени жизни или длины диффузии неравновесных носителей заряда (ННЗ) в кремнии в сочетании с воздействием на пластину инфракрасным излучением между двумя измерениями. Атомы железа в кремнии *p*-типа создают связи с легирующим бором, а поскольку концентрация последнего многократно превышает возможные значения концентрации примеси железа, практически все железо в кремнии присутствует в виде пар Fe-B. Воздействие инфракрасным излучением обеспечивает нагрев кремниевой пластины

для натуральных исследований аэродинамических характеристик транспортных средств и показала себя как весьма надежное и удобное средство для количественных и качественных натуральных исследований особенностей аэродинамики обтекания набегающим потоком воздуха навесного оборудования кабины или кузова транспортных средств.

1. Евграфов А.Н., Высоцкий М.С., Титович А.И. Аэродинамика магистральных автопоездов, - Мн.: Наука и техника, 1988. - 232с.
2. Евграфов А.Н., Высоцкий М.С. Аэродинамика колесного транспорта. - Мн.: НИРУП «Белавтотракторостроение», 2001. -308с.

до температуры 200 °С, что недостаточно для повреждения полупроводниковых структур, но в то же время приводит к разрушению связей Fe-B и выделению интерстициального железа Fe_i, отслеживаемому по изменению длины диффузии ННЗ. Аналогичным образом происходит связывание и выделение примеси никеля.

Схема алгоритма методики определения примеси железа в кремнии с использованием дополнительного воздействия инфракрасным излучением показана на рисунке 1. Алгоритм предусматривает измерение длины диффузии ННЗ в выбранных точках поверхности в режиме сканирования пластины электрометрическим зондом (блок 1). Поскольку такие измерения требуют сравнительно длительного времени (порядка 10 с для каждой точки), выбор количества анализируемых точек должен производиться на основе компромисса между разрешающей способностью и длительностью проведения контроля. Используемая методика измерения длины диффузии является бесконтактной и основана на регистрации изменений потенциала поверхности полупроводника с помощью электрометрического зонда Кельвина при воздействии на нее монохроматическим оптическим излучением разных длин волн [1]. Результатом выполнения блока 1 алгоритма является карта распределения длины диффузии ННЗ по поверхности пластины, обусловленного влиянием пар Fe-B.

После первичного картографирования пластины осуществляется ее перенос в камеру нагрева (блок 2), где производится ее прогрев при температуре 200 °С в течение 2 минут (блок 3). Имеющиеся литературные данные [2] пока-