

УДК 533.6.07+681.518.3

МНОГОКАНАЛЬНОЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

¹Гаркуша В.В., ^{2,3}Гилев В.М., ²Запругаев В.И., ¹Яковлев В.В.

¹Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН,
Новосибирск, e-mail: vgarkusha@kti.nsc.ru;

²Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
Новосибирск, e-mail: gil@itam.nsc.ru;

³Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, e-mail: gil@itam.nsc.ru

Представлен набор технических средств, предназначенных для проведения многоканальных измерений давления в аэродинамическом эксперименте. Данные средства разработаны совместно КТИ ВТ СО РАН и ИТПМ СО РАН и служат для автоматизированного измерения давления в системах сбора и обработки экспериментальных данных. Многоканальные измерители давления могут использоваться для проведения высокоточных измерений давления в различных областях науки и техники.

Ключевые слова: автоматизированная система сбора данных, многоканальное измерение давления, датчик давления, погрешность измерения

MULTICHANAL AUTOMATE PRESSURE MEASURING IN AERODYNAMIC EXPERIMENT

¹Garkusha V.V., ^{2,3}Gilyov V.M., ²Zapryagaev V.I., ¹Yakovlev V.V.

¹Design Institute for Computer Engineering SB RAS, Novosibirsk, e-mail: vgarkusha@kti.nsc.ru;

²Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS,
Novosibirsk, e-mail: gil@itam.nsc.ru;

³Novosibirsk State technical university, Novosibirsk, e-mail: gil@itam.nsc.ru

The set of the technical means intended for carrying out multichannel measurements of pressure in aerodynamic experiment is presented. These means are developed in common Design Institute for Computer Engineering SB RAS and Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS and serve for the automated measurements of pressure in systems of collecting and processing of experimental data. Multichannel measuring instruments of pressure can be used for carrying out high-precision measurements of pressure in various areas of science and equipment.

Keywords: the automated system of experimental data acquisition, multichannel measurement of pressure, pressure sensor, a measurement error

Значительная часть экспериментальных исследований, проводимых в области аэродинамики, связана с одновременным измерением давления газа (в частности, воздуха) в разных точках, как в рабочей части аэродинамической установки, так и на поверхности исследуемой экспериментальной модели (так называемые, *дренажные испытания*) [1, 2]. Для этой цели на исследуемой модели устанавливаются точки отбора давления, каждая из которых с помощью индивидуальной пневмотрассы соединяется с соответствующим датчиком давления. При этом выход каждого датчика подключается к соответствующему каналу измерительной системы («точка на точку»). Такая схема, однако, имеет существенные недостатки, заключающиеся: во-первых, в необходимости использовать большое количество датчиков давления; во-вторых, в больших наводках и шумах в сигналах от датчиков, возникающих в линиях связи, которые не позволяют обеспечивать необходимую точность измерения сигналов из-за малого соотношения сигнал/шум плюс на-

веденный потенциал на входе измерительной системы. Для медленных процессов эта проблема решается применением специальных прецизионных измерительных приборов (цифровых вольтметров) с коммутатором на входе, имеющих время интегрирования, обязательно кратное периоду питающей сети для компенсации сетевой помехи (50 Гц), при этом полезные флуктуации сигналов, естественно, будут потеряны. Другим недостатком такой системы является очень высокая ее стоимость (тысячи долларов США) за счет использования высокочувствительных измерительных приборов, в основном, зарубежного производства. Примером такого прибора может служить система сбора данных/коммутации 34970A (высокоточный мультиметр) с высокоскоростным мультиплексором 34902A фирмы Agilent Technologies, имеющая в своем составе программируемый фильтр и интерфейс связи с компьютером, с минимальным временем измерения по одному каналу 40 мс; при этом даже для 16 сигналов (входной коммутатор на 16 каналов)

цикл измерения по каждому каналу составляет 640 мс, что для многих аэродинамических экспериментов уже неприемлемо.

Другим способом проведения многоканальных измерений давления в аэродинамическом эксперименте является применение различных коммутационных измерительных средств, в частности электромеханических пневмокоммутаторов.

1. Использование электромеханических пневмокоммутаторов. Для обеспечения многоканальных измерений давления в ИТПМ СО РАН был разработан оригинальный пневмокоммутатор на 12 каналов (рис. 1) [3], который позволяет поочередно подключать к одному датчику давления десять рабочих (измерительных) пневмотрасс и два служебных давления. В этом пневмокоммутаторе до и после опроса измерительных каналов опрашиваются последовательно два служебных канала, в один из которых подается опорное (вакуум), а в другой эталонное (атмосфера) давление. По результатам опроса служебных каналов вычисляется коэффициент преобразования датчика в текущем измерении, что позволяет существенно увеличить точность измерения давления. На основе пневмокоммутаторов в ИТПМ СО РАН реализована подсистема многоканального измерения давления МИД-100, позволяющая в аэродинамическом эксперименте проводить многоточечные измерения давления [4]. Этот метод измерения давления многие годы оставался основным, хотя он и не был лишен недостатков, а именно, наличие длинных пневмотрасс (10–15 м) приводило к большим временам установления в них давления (до 300 мс). Цикл измерения давления по каждому каналу составлял порядка 4 с, т.е. такая система могла применяться только для очень медленных процессов. Другим существенным недостатком этого датчика является наличие электромагнитных клапанов, коммутирующих входы подвода давления к тензометрическому преобразователю, которые управляются при помощи мощных сигналов управления (24 В, 3 А). Столь высокая энергетика управляющих сигналов (более 70 Вт) не может не приводить к нагреванию тензопреобразователя в процессе его работы, что в свою очередь приводит к изменению его характеристик (температурное влияние), т.к. температурные коэффициенты сопротивления тензорезисторов моста тензометрического преобразователя обладают очень большим разбросом температурных характеристик, которые не нормируются и их разброс достигает до 20%, что приводит к существенным погрешностям измерения давления. Третьим недостатком этих пневмокоммутаторов яв-

ляется крайне низкая надежность электромагнитных клапанов. В связи с этим, такие датчики к настоящему времени устарели как морально, так и физически.



Рис. 1. Внешний вид 12-канального пневмокоммутатора

Следует отметить, что методика измерения давлений в рабочей части аэродинамической трубы содержит два противоречивых требования: с одной стороны, необходима как можно меньшая длина пневмотрасс, для обеспечения минимального времени установления давления в них и сохранении динамики сигналов; с другой стороны, необходимо обеспечить минимально возможное расстояние от датчиков давления до измерительного устройства для уменьшения помех и наводок в линиях связи.

В этих условиях представляется оптимальным вариант использования переносных многоканальных высокоточных измерителей давления, которые можно было бы установить в непосредственной близости от установки, и которые имели бы стандартный интерфейс связи с системой автоматизации [5]. По этому интерфейсу в реальном времени измеренные данные поступают в систему автоматизации и далее там обрабатываются.

2. Использование интегральных тензодатчиков давления. С целью дальнейшего развития технологий и средств многоканального измерения давления в аэродинамических трубах на основе интегральных высокостабильных датчиков давления, появившихся в последнее время на рынке, в КТИ ВТ СО РАН совместно с ИТПМ СО РАН, были разработаны функционально законченные малогабаритные переносные многоканальные высокоточные измерители давления «точка на точку» МИД-10 [6] (рис. 2), которые можно устанавливать в непосредственной близости от исследуемой модели как внутри, так и снаружи аэродинамической трубы, и которые имеют стандартный интерфейс связи с системой автоматизации.



Рис. 2. Многоканальный измеритель давления МИД-10

Конструктивно МИД-10 выполнен в герметичном корпусе прямоугольного вида с десятью штуцерами для подключения пневматических трасс и двумя разъемами для подключения питания и линии связи, один из которых может быть использован для транзита линий питания и связи к другому блоку МИД-10.

Измеритель давления МИД-10 содержит следующие функциональные элементы:

- Плата датчиков, состоящая из:
 - Десяти датчиков абсолютного давления (Датчик № 1...Датчик № 10);

- Десяти операционных усилителей (ОУ1... ОУ10);

- Десяти аналого-цифровых преобразователей (АЦП1...АЦП10);

- Десяти стабилизаторов питания (Стабилизатор питания 1... Стабилизатор питания 10).

- Плата контроллера, состоящая из:

- Микроконтроллера (МК);

- Драйвера последовательного интерфейса RS485 (Драйвер);

- Стабилизатора напряжения питания.

- Разъемы X1, X2, соединенные параллельно для подключения линий питания и последовательного интерфейса RS485, а также транзита этих линий к другим внешним устройствам. Последовательный интерфейс RS485 позволяет достаточно просто реализовать распределенные подсистемы сбора экспериментальных данных по давлению с интегрированием их в состав автоматизированной системы сбора данных аэродинамической установки. Структурная схема измерителя давления МИД-10 приведена на рис. 3.

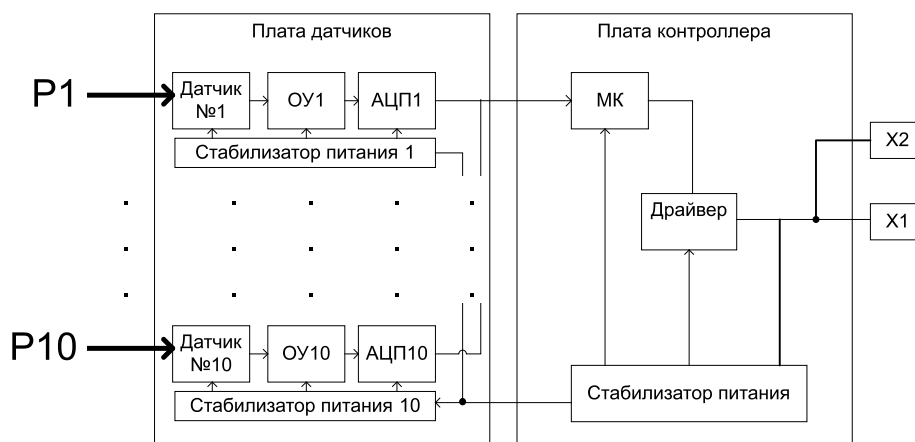


Рис. 3. Структурная схема многоканального измерителя давления МИД-10

Создание МИД-10 решило основные задачи при измерении давления: во-первых, была минимизирована длина пневмотрасс, что существенно снизило время установления давления в них и в связи с этим повысилась динамика сигналов (цикл измерения давления десяти каналов МИД-10 составляет около 100 мс, время передачи данных не более 30 мс) и уменьшилось время проведения эксперимента (экономия энергоресурсов); во-вторых, обеспечено минимально возможное расстояние от датчиков давления до измерительного устройства, что существенно снизило помехи и наводки в сигнале и повысило чувствительность канала измерения.

Измерительные каналы в МИД-10 обладают невысокой погрешностью измерения давления (0.15%), выходные цепи последовательного интерфейса имеют гальваническую развязку до 500 В, позволяющую защитить МИД-10 от наведенных потенциалов, которые могут возникать на длинных соединительных линиях, проходящих рядом с силовыми цепями.

3. Многоканальный измеритель давления МИД10-1. Многоканальный измеритель давления МИД10-1 является дальнейшим развитием системы многоканального измерения давления МИД-10. Отличием МИД10-1 от предыдущего прибора заключа-

ется в более удобном конструктивном исполнении, уменьшении габаритов и веса, а также уменьшении времени измерения давления. Конструктивно МИД10-1 выполнен, также как и МИД-10 в прямоугольном гер-

метичном корпусе с разъемами для подключения питания и линии связи и штуцерами для подключения пневматических трасс. На рис. 4 приведена структурная схема многоканального измерителя давления МИД10-1.

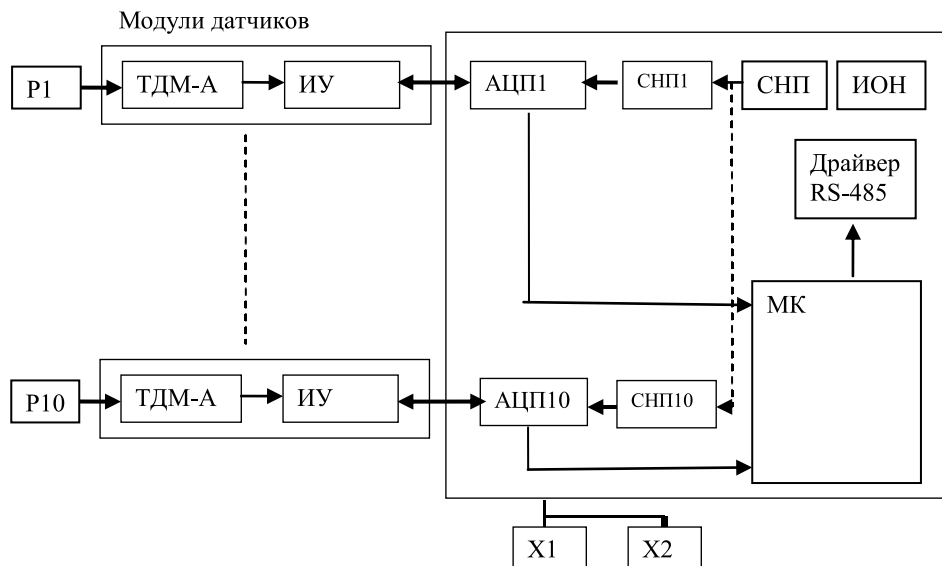


Рис. 4. Структурная схема многоканального измерителя давления МИД10-1

МИД10-1 состоит из следующих функциональных элементов:

- 10 модулей датчиков, выполненных в виде отдельных мезонинов. На каждом модуле размещены датчик давления типа ТДМ-А, усилитель-нормализатор электрического сигнала, выполненный на инструментальном усилителе ИУ, и соединитель для подключения его к плате контроллера. Такое исполнение намного снизило время ремонта МИД10-1 по замене датчика давления, как самого ненадежного элемента.

- Плата контроллера, состоящая из:
 - Микроконтроллера (МК);
 - Драйвера последовательного интерфейса RS485 (Драйвер);
 - Стабилизатора напряжения питания (СНП);
 - Источника опорного напряжения (ИОН);
 - Десяти аналого-цифровых преобразователей (АЦП1...АЦП10);
 - Десяти стабилизаторов напряжения питания (СНП1... СНП10) для индивидуального питания модулей датчиков и АЦП.
- Разъемы X1, X2, соединенные параллельно для подключения линий от источника питания и последовательного интерфейса RS485 а также транзита этих линий к другим внешним устройствам, в частном случае к другим МИД10-1 при их последовательном соединении.



Рис. 5. Общий вид многоканального измерителя давления МИД10-1

Основные технические характеристики модуля МИД10-1:

- максимальное время измерения давления и передачи данных от МИД10-1 – 30 мс на все 10 каналов;
- МИД10-1 обеспечивает возможность конфигурирования каналов измерения давления посредством установки различных модулей датчиков и их калибровки от автоматизированного места инженера-исследователя через интерфейс RS485. Разработаны специальные программы с «дружественным» интерфейсом, позволяющие достаточно просто работать с МИД10-1;
- скорость передачи данных по интерфейсу RS485 – 38400 бод;
- максимальная длина линии связи – 1200 м;

– возможно последовательное соединение до 32 МИД10-1 внешним кабелем, для увеличения количества каналов измерения давления (до 320 шт.).

Общий вид многоканального измерителя давления МИД10-1 представлен на рис. 5.

Заключение

В данной работе представлен ряд разработанных совместно КТИ ВТ СО РАН и ИТПМ СО РАН многоканальных измерителей давления для автоматизированного сбора экспериментальных данных, которые по своим основным техническим характеристикам не уступают лучшим зарубежным и отечественным образцам. МИД10-1 по своим характеристикам полностью удовлетворяет всем требованиям для проведения аэрофизических экспериментов.

Разработанные многоканальные измерители давления могут применяться как автономно, так и в составе автоматизированных систем сбора данных, используемых при проведении экспериментальных исследований в аэродинамических установках. Широкое применение измерители могут найти в ВУЗах при проведении лабораторных и исследовательских работ, а так же для проведения высокоточных измерений давления в различных областях промышленности и НИИ. Измерители отличаются высокой точностью и стабильностью измерительных каналов. Соотношение цена/качество для измерителей давления ниже, чем у многих отечественных и зарубежных аналогов.

В дальнейшем предполагается провести серию методических экспериментов с использованием представленных устройств. В этих экспериментах будут определяться метрологические характеристики многоканальных измерителей давления.

Представленная работа выполнялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты РФФИ № 12-07-00548 и 14-07-00426), а также Программы импортозамещения СО РАН.

Список литературы

1. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента: учеб. пособие для вузов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – С. 497–536. – (Учебники НГТУ).
2. Sobstel G.M., Garkusha V.V., Yakovlev V.V., Gilyov V.M., Zapryagaev V.I., Pevzner A.S. Automation of experimental studies in supersonic wind tunnels // Proceedings of the IASTED International Conferences on Automation, Control, and Information Technology (ACIT 2010), Novosibirsk, June 15 – 18, 2010. – P. 168–173.
3. А.С. № 564552 «Пневмокоммутатор для многоканального измерителя давления».
4. Запрыгаев В.И., Гилев В.М., Певзнер А.С., Собстель Г.М., Гаркуша В.В., Яковлев В.В. Автоматизированные системы сбора и обработки экспериментальных данных в аэродинамических трубах периодического действия // Проблемы и достижения прикладной математики и механики: к 70-летию академика В.М. Фомина: сб. науч. трудов / ред. кол.: Федоров А.В. (отв. ред.) и др. – Новосибирск: Параллель, 2010. – С. 183–192.
5. Гаркуша В.В., Гилев В.М., Собстель Г.М., Яковлев В.В. Многоканальный автономный измеритель давления для автоматизированного сбора экспериментальных данных // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 7. – С. 11–13.
6. Garkusha V.V., Zapryagaev V.I., Pevzner A.S., Yakovlev V.V., Yakovleva N.V. Automated system for experimental data acquisition, storage and processing [Электронный ресурс] // 16th International conference on the methods of aerophysical research (ICMAR'2012) (Kazan–Novosibirsk, Russia, 19–25 Aug., 2012). URL: <http://icmar2012.itam.nsc.ru/ru/>.