

*Д.В.БРЕСЛАВСКИЙ*, докт.техн.наук; *И.В.НАУМОВ*;  
*А.В.ОНИЩЕНКО*; НТУ «ХПИ»

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ ТОНКИХ ПЛАСТИН**

Статтю присвячено опису експериментальних засобів, розроблених в НТУ «ХПІ» для моделювання процесів ударної взаємодії пружного ударника та тонких пластин. Надано опис експериментальної установки, та блоків, що входять до неї. Демонструється приклад роботи експериментального комплексу при його тестуванні.

The paper describes the experimental facilities had been developed in NTU «KhPI» for the modeling of the impact interaction between the pellet and thin rectangular plate. The experimental unit, as well as its components, are described. The example of the experimental unit's working at the testing process is given.

**1. Актуальность работы.** При реализации любого процесса измерения необходимых характеристик механических объектов и систем необходимы технические средства, осуществляющие восприятие, преобразование и представление числового значения физических величин. Современные технологии позволяют создавать многофункциональные измерительные комплексы на базе персональных компьютеров и дополнительных устройств ввода-вывода сигналов: плат аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового преобразования (ЦАП).

Применение компьютера в качестве регистрирующего устройства позволяет обрабатывать результаты измерений, как в реальном масштабе времени, так и с предварительным накоплением информации в памяти компьютера, т.е. со сдвигом по времени для последующего углубленного анализа полученной информации.

В статье рассматривается вопрос проектирования информационной измерительной системы для лабораторных исследований механических процессов, возникающих при ударном взаимодействии ударника т тонкостенной конструкции. Экспериментальный комплекс должен включать в себя средства сбора экспериментальных данных, их дальнейшую обработку и анализ [1].

В качестве экспериментальной задачи рассматривается удар сферического тела по прямоугольной шарнирно-опертой по контуру пластине постоянной толщины. Размеры пластины должны соответствовать требованиям теории тонких пластин. Размеры ударника должны быть соизмеримо малы по отношению с размерами пластины. Физические свойства материалов ударника и пластины предполагаются известными. Ударник падает на пластину с определенной высоты с ускорением свободного падения, что позволяет определить его скорость в начальный момент удара. На протяжении всего процесса удара с определенной частотой фиксируются значения экспериментальных данных.

**2. Описание экспериментальной установки.** Структурная схема измерительного комплекса представлена на рис. 1. Комплекс включает следующие элементы:

- 1) испытательную установку (узел датчиков);
- 2) блок формирования сигналов датчиков
- 3) блок сопряжения и защиты;
- 4) плату АЦП;
- 5) компьютер.

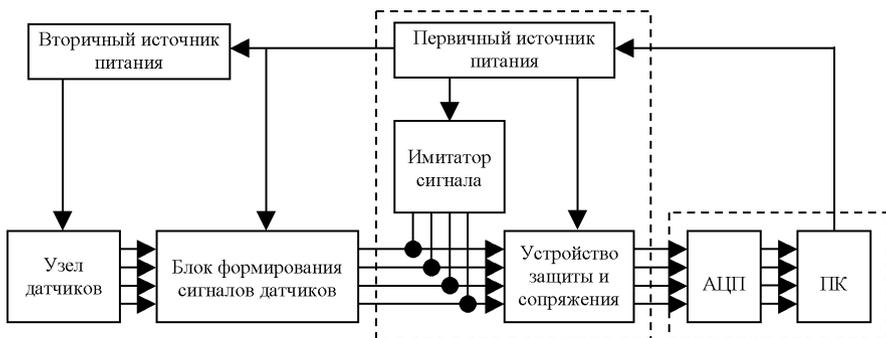


Рисунок 1 – Структурная схема измерительного комплекса

Плата АЦП установлена в РС1 разъем компьютера. Конструктивно предусмотрена возможность установки блока сопряжения и защиты в 5,25" отсек системного блока компьютера. Блоки формирования сигналов датчиков также могут устанавливаться в 5,25" отсек, объединяясь в группы при малом расстоянии до узла датчиков с целью уменьшения длины соединительных проводов и снижения влияния внешних факторов на измерения. Все блоки комплекса соединены между собой экранированными кабелями через разъемы. Это позволяет при необходимости оперативно сменить любой из электронных блоков, не нарушая настроек системы. Таким образом, измерительный комплекс представляет собой мобильную систему с широким набором функций, который обеспечивается сменными блоками.

Экспериментальная установка представляет собой специально разработанную конструкцию, предназначенную для реализации условий опытов – анализа динамических процессов в пластине, на которую вертикально падает стальное сферическое тело. В верхней точке ударник фиксируется с помощью электромагнитного поля соленоида. Запуск шарика осуществляется дистанционно. Пластина шарнирно закрепляется по периметру на опорной раме. На пластине размещена измерительная сеть из тензодатчиков. Под пластиной может находиться сеть датчиков перемещения. Конфигурация измерительных сетей выбирается исходя из необходимости получения максимальной информации о динамическом деформировании пластины. Источник питания датчи-

ков размещен вне зоны испытаний.

Для исключения помех сигнал с датчиков усиливается, и датчики подключаются к блоку сопряжения и защиты с помощью экранированных кабелей. Для измерений применены несколько типов датчиков: для измерения напряжений на поверхности пластины – тензодатчики; для ускорений и частот – вибрационные датчики; для измерения прогибов пластины – датчики перемещения. Тензодатчики объединены в розетки.

Для исключения влияния внешних факторов на тензодатчики провода для вывода сигнала прижаты к пластине металлическим фиксатором, приваренным точечной сваркой. Провода выводятся сквозь отверстия в плите, на которой закреплена опорная рама.

Данные, полученные датчиками одного типа, можно проверить измерениями с других датчиков, построенных на иных физических принципах.

**Блок формирования сигналов датчиков.** Испытательная установка может располагаться на значительном расстоянии от компьютера, и при передаче данных могут возникнуть помехи. Данный блок осуществляет усиление сигналов, снимаемых с датчиков до уровня, необходимого для их передачи, балансировку тензомостов, выбор частоты измерений, а также фильтрацию частот, не предусмотренных условиями эксперимента.

Блок является сменным, что обеспечивает быстрый переход между различными задачами измерений без нарушения настроек. Для исключения влияния помех блок запитан от собственного источника.

**Формирование сигнала тензодатчиков.** Для измерения сопротивления тензорезистора используют мостовую (рис. 2) схему подключения. В качестве резисторов  $R_1 - R_3$  используются такие же тензорезисторы, как и измерительные, только наклеенные на пластину в поперечном направлении.

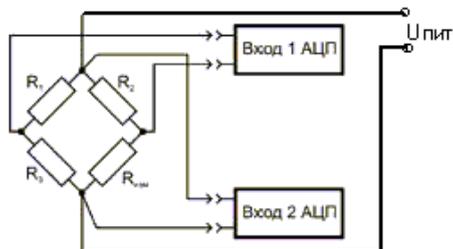


Рисунок 2 – Мостовая схема подключения тензодатчиков

При использовании в качестве  $R_1 - R_3$  таких же резисторов, находящихся в таких же условиях, что и измерительный тензорезистор, существенно упрощается термокомпенсация мостовой схемы. Для этого используется 6-проводная схема измерения. Одна пара проводов служит для питания моста,

другая пара проводов служит для измерения подаваемого напряжения, третья пара – для измерения разности потенциалов [1].

Таким образом, в мостовой схеме выходным сигналом является относительное падение напряжения  $V_1/V_2$ .

Приемник может измерять сигнал относительно общего проводника или относительно второго входного зажима. В первом случае это приемник с несимметричным входом, во втором случае – дифференциальный приемник сигнала [2].

Измерение падения напряжения в мостовой схеме производится между двумя проводниками, в связи с этим необходимо применить дифференциальный приемник сигнала.

Неидеальность дифференциальных приемников заключается в том, что наряду с дифференциальным сигналом на выход приемника попадает и ослабленный синфазный сигнал. Коэффициент передачи синфазного сигнала меньше, чем дифференциального, в некоторое число раз, которое называется коэффициентом ослабления синфазного сигнала. Поэтому во всех случаях, когда измеряется разность двух напряжений, нужно усиливать один потенциал, измеренный относительно другого. Эта идея положена в основу построения большинства прецизионных усилителей с дифференциальным входом. В качестве приемника с дифференциальным входом в схеме формирования сигналов датчиков применен прецизионный инструментальный усилитель AD623 фирмы Analog Devices.

**Блок сопряжения и защиты.** При проведении измерений возможно превышение уровня сигнала на входе АЦП выше допустимого. Это может произойти при выходе из строя датчиков или превышении питающего датчики напряжения. Блок сопряжения и защиты служит для исключения риска подачи на вход АЦП высокого напряжения и усиления сигналов, получаемых с измерительных датчиков. Блок также содержит: источник питания датчиков; тестовый генератор; коммутатор входов АЦП.

**Источник питания.** Первичный источник питания формирует стабильное напряжение  $\pm 12\text{В}$  для вторичного источника питания, а также питает блок защиты и сопряжения и блок формирования сигналов датчиков. Мощный выпрямитель, расположенный в первичном источнике, предназначен для питания соленоида-фиксатора.

Вторичный источник питания датчиков формирует из стабильного напряжения  $\pm 12\text{В}$  первичного источника стабильные двуполярные напряжения  $\pm 5\text{В}$ , подаваемые на испытательную установку [2].

**Тестовый генератор.** Тестовый генератор служит для проверки прохождения сигнала по цепям блока сопряжения и защиты. Сигнал генератора подается на вход блока вместо сигнала от измерительных датчиков. В режиме

проверки защиты от высокого напряжения амплитуда сигнала плавно увеличивается до срабатывания защитного устройства. При необходимости корректируется порог включения защиты. При тестовом режиме имитируется работа испытательной установки, контролируется прохождение сигнала по электрическим цепям и проводится регулировка уровней на выходе блока, производится пробная запись сигнала на ПК.

**Коммутатор входов АЦП.** В случае, если используются не все аналоговые каналы платы АЦП, неиспользуемые каналы необходимо заземлить. Это устранил наводку помех со стороны свободных каналов. Если их оставить незаземленными, то из-за большого входного сопротивления инструментального усилителя и проникания сигнала через мультиплексор на входе АЦП будет дополнительный шум, дающий ухудшение отношения С/Ш и, как следствие, приводящий к уменьшению числа эффективных разрядов для сигналов в используемых каналах. Коммутатор входов АЦП позволяет заземлить свободные каналы, что увеличивает точность измерений на используемых.

**Плата АЦП.** Для преобразования аналоговых входных сигналов, сформированных блоком сопряжения и защиты в цифровую форму для дальнейшей обработки сигнала при помощи компьютера, применена плата АЦП LA-1.5PCI. Плата АЦП является составной частью компьютера, обмен данными аналого-цифрового преобразования между компьютером и платой осуществляется через интерфейс PCI. Плата LA-1.5PCI может вести измерения по 32 однополюсным или 16 дифференциальным каналам. В конструкции платы применен АЦП последовательного приближения. Максимальная частота дискретизации 700 КГц и зависит от числа активных каналов. Аналого-цифровой канал состоит из входного мультиплексора, полного инструментального усилителя, программируемого усилителя, АЦП с УВХ, буфера FIFO на 2048 слов данных. Режим АЦК (однополюсный или дифференциальный) задается программно.

С помощью программируемого усилителя можно программно задать входной диапазон АЦП. Максимальная амплитуда измеряемых сигналов  $\pm 10,0\text{В}$ . Буфер FIFO позволяет «выровнять» скорость потоков чтения данных с АЦП и записи данных в ПК по шине PCI (процессы чтения и записи являются асинхронными), что снижает вероятность пропусков кодов на высоких частотах дискретизации.

**Компьютер.** Цифровые данные, полученные с платы АЦП, поступают в ПК и подвергаются обработке с помощью специального программного обеспечения. Программы позволяют записать сигнал, определить значения измеряемых параметров, спектры сигналов, время затухания колебаний.

Запуск испытательной установки происходит дистанционно, по сигналу пользователя ПК. Одновременно с началом испытаний начинается запись ре-

зультатов. Программа может обрабатывать информацию, поступающую на любое количество каналов платы АЦП, от 1 до 32.

**3. Тестирование комплекса.** В ходе тестовых испытаний измерительного комплекса была проверена работоспособность всех элементов ЛИС. С помощью специализированного программного обеспечения записывались показания датчиков в процессе ударного нагружения. На рис. 3 приведены результаты, получаемые по одному из каналов. Ярко выражен ударный импульс и дальнейшие колебания пластины с постепенным затуханием.

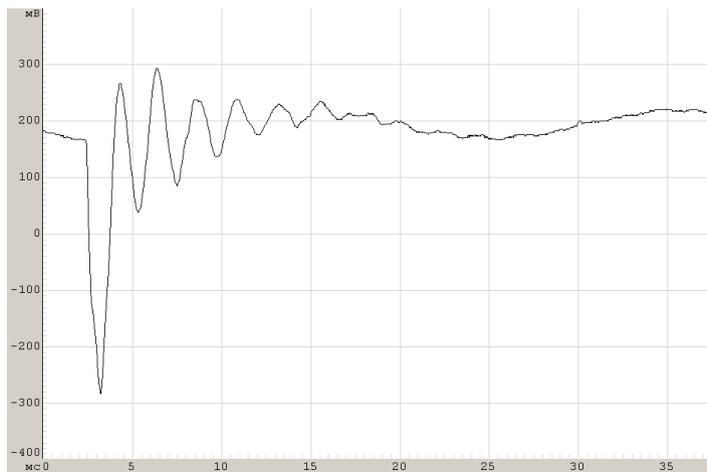


Рисунок 3 – Данные, полученные с тензодатчика

**4. Выводы.** В данной работе создана лабораторная измерительная система (ЛИС) для экспериментального изучения процессов ударного взаимодействия ударника и пластины. Разработанная ЛИС позволяет проводить испытания при статических и динамических нагрузках. При ее разработке применены технологии, позволяющие создать систему с заданным диапазоном измерений, обладающую высокой точностью и быстродействием. Создана аппаратная часть комплекса, отвечающая требованиям поставленной задачи. Предусмотрена возможность последующей модернизации. Планируется создание специализированных программных средства для обработки результатов испытаний.

**Список литературы:** 1. Экспериментальная механика: В 2-х книгах. Кн.2 / Под ред. А.Кобаяси. – М.: Мир, 1990. – 552 с. 2. И.И.Белопольский. Электропитание радиоустройств. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 320 с. 3. Тензодатчики для экспериментальных исследований. – М.: Машиностроение, 1972. – 152 с. 4. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений. – К.: Наукова думка, 1981. – 583 с.

*Поступила в редколлегию 10.11.2007*