

Экспериментальное исследование поперечных колебаний стержней

¹ Евгений Николаевич Пересыпкин

² Елена Евгеньевна Юрченко

³ Евгений Анатольевич Юрченко

¹ Сочинский государственный университет, Россия
354000, г. Сочи, ул. Советская, 26а
Доктор технический наук, профессор
E-mail: pen40@ Rambler.ru

² Сочинский государственный университет, Россия
354000, г. Сочи, ул. Советская, 26а
Кандидат технический наук
E-mail: wsonormalno@yandex.ru

³ Сочинский государственный университет, Россия
354000, г. Сочи, ул. Советская, 26а
Аспирант
E-mail: wsonormalno@yandex.ru

Аннотация. В статье описан аналоговый эксперимент по исследованию поперечных колебаний стержневых строительных конструкций с использованием пьезоэффекта в моделях из органического стекла и древесины. Полученные результаты могут быть использованы при анализе напряженно-деформированного состояния конструкций от динамических (в частности, сейсмических) воздействий.

Ключевые слова: колебания стержней, пьезоэффект, осциллограф.

УДК
624.072

Сейсмическое воздействие на сооружения и их реакция на воздействие имеют сложный характер как на структурном, так и на функциональном уровнях. Структурная сложность обусловлена большим количеством взаимодействующих субъединиц, взаимосвязей между ними, функциональная – многочисленностью дискретных эпизодов разветвлений процесса (бифуркаций).

Для оценки сейсмостойкости сооружений целесообразно применение методов системного анализа с его развитым для решения подобного рода задач математическим аппаратом [1]. Анализ этим методом стержневых систем (например, рам) на сейсмическое воздействие, заданное в виде кинематического смещения опор и дальнейшего распространения волны по конструкциям, показывает наличие в структуре системы (рамы) особых точек, или точек бифуркации.

Для раскрытия физического смысла этого явления нами был разработан физический эксперимент с использованием пьезоэффекта и изготовлен прибор для регистрации электрических колебаний – усилитель, работающий в диапазоне от 5 до 20000 Гц, подключенный к линейному входу звуковой карты персонального компьютера в качестве двухканального осциллографа.

Параметры усилителя: уровень входного сигнала 0,18-0,3 мВ; входное сопротивление – 51 кОм; уровень выходного сигнала (регулируемый) 0,1-2,0 В; выходное сопротивление – 47 кОм; диапазон усиливаемых частот 5 - 22000 Гц; коэффициент гармоник на частоте 1000 Гц - 0,0015 %.

Природа пьезоэффекта состоит в следующем. Под действием внешних механических сил происходит перераспределение электрических зарядов (ионов или полярных удлиненных молекул) внутри пьезоэлемента. При этом на его поверхности появляется некоторая (иногда весьма значительная) разность потенциалов, а в окружающем пространстве изменяется электрическое поле. Произвести съем электрического тока можно двумя способами. Во-первых, плотно прикрепив электроды к поверхности пьезоэлемента (в таких случаях электроды, как правило, получают напылением металла на поверхность пьезоэлемента в вакууме). Во-вторых, электроды можно поместить на близком расстоянии от пьезоэлемента, не касаясь его поверхности. В результате внешнего механического воздействия на пьезоэлемент на

поверхности последнего появляются электрические заряды. Вследствие электростатической индукции заряды противоположного знака появляются на электродах.

Мы применили второй способ обнаружения пьезоэффекта и использовали пьезоэлектрические свойства органического стекла (плексиглас) и древесины, то есть зависимость электрического поля вокруг образца от прикладываемых внешних механических нагрузок.

Для обнаружения микротоков необходим чувствительный осциллограф. Вместо осциллографа можно воспользоваться персональным компьютером со звуковой картой. Поскольку получаемый в опытах электрический сигнал имеет низкую частоту (максимум 20–40 Гц), а звуковая карта обрабатывает электрические колебания до 20 000 Гц, то вполне возможно применить звуковую карту для обнаружения и последующей обработки интересующего нас сигнала. В наших опытах принят именно этот способ.

Чувствительность линейного и микрофонного входов звуковой карты недостаточна для проведения исследований, кроме того, микрофонный вход звуковой карты работает в режиме "моно", то есть предусматривает подключение одного канала источника звука (микрофона), а в опытах необходима двухканальная обработка сигнала. Поэтому в виде приставки к персональному компьютеру сделан внешний двухканальный малошумящий микрофонный усилитель. Сигнал, снимаемый с исследуемого образца (2 канала), подается в микрофонный усилитель, усиливается в нем до необходимого уровня (приблизительно 0,2 В) и выводится на линейный вход звуковой карты компьютера для дальнейшей обработки.

Датчики выполнены в виде штыревых антенн (2 штуки), изготовленных из голого медного провода длиной 5–8 см диаметром 0,1–0,05 мм, припаянного к свободным выводам коаксиального (микрофонного или высокочастотного антенного) кабеля. Один штырь припаивается к центральной жиле кабеля, другой – к оплетке (броне) кабеля. Тонкий микрофонный кабель более гибкий из-за того, что его центральный проводник скручен из нескольких мягких проволочек, поэтому более удобен в использовании, чем высокочастотный такого же диаметра. Штыри антенн располагаются максимально близко к поверхности исследуемого образца, не касаясь ее. Длина кабелей, подключаемых к микрофонным входам, должна быть минимальной (для минимизации помех).

Идея этого эксперимента позаимствована из статьи [2], в которой обоснованы возможности применения электретов в качестве датчиков перемещений и деформаций. Принципиальная схема опыта показана на рисунке 1. Свободные колебания консольной балки возбуждаются начальным статическим отклонением ее от положения равновесия с последующим мгновенным снятием приложенного воздействия.

В наших опытах исследуемый образец (деревянная линейка, покрытая спиртовоканифольным лаком или линейка из оргстекла длиной 40 см – рисунок 2) жестко закрепляется одним концом в массивной подставке в горизонтальном положении. Вблизи поверхности, на заранее обозначенном расстоянии от места заземления, устанавливаются приемные антенны (две пары), подключаемые к соответствующим входам двухканального микрофонного усилителя при помощи коаксиальных экранированных кабелей.

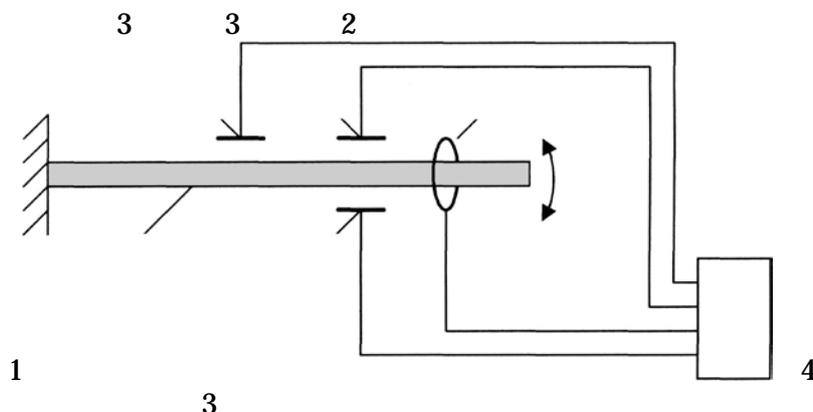


Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента

1 – консольная балка, 2 – кольцевая антенна, 3 – штыревые антенны, 4 – осциллограф (компьютер). Дужкой со стрелочками по концам указано направление колебаний балки относительно антенн.

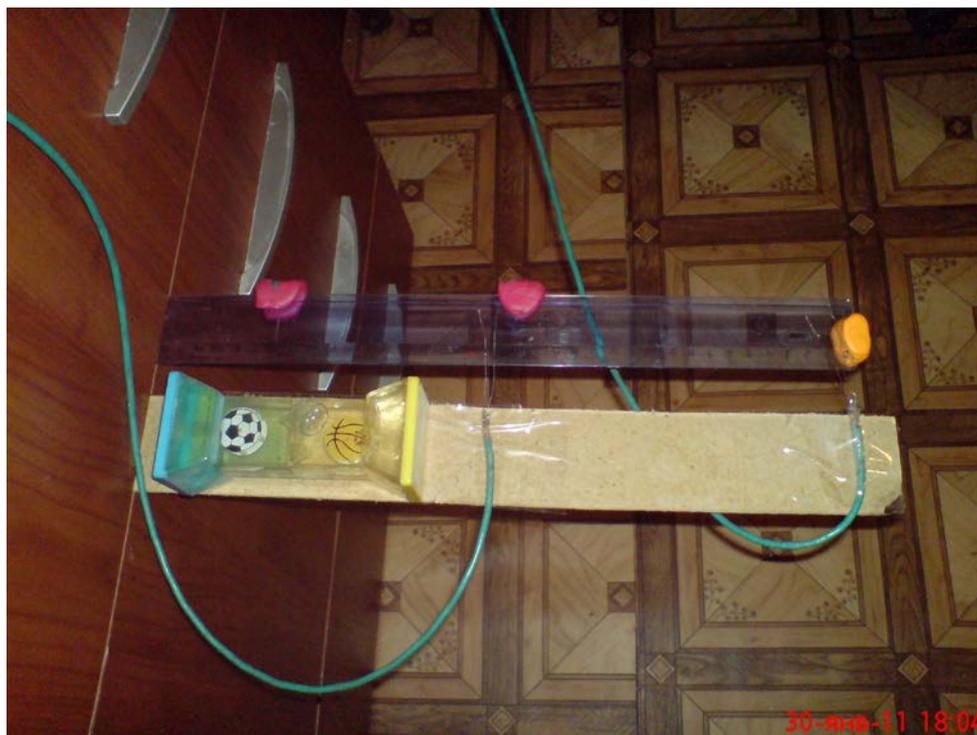


Рис. 2. Эксперимент с линейкой из оргстекла

Выходы двухканального микрофонного усилителя подключаются к двухканальному линейному входу звуковой карты персонального компьютера также при помощи коаксиальных экранированных кабелей с разъемами. На компьютере устанавливается операционная система Windows и программа Spectralab (или операционная система Linux и программа Oscilloscope). Персональный компьютер вместе с подключенным к нему двухканальным микрофонным усилителем работает как двухканальный осциллограф.

При необходимости результаты опытов в виде осциллограмм могут быть распечатаны на принтере или сохранены на жестком диске или сменных носителях в виде файлов. Данный микрофонный усилитель может также использоваться для регистрации частот колебаний строительных конструкций (или их отдельных элементов), выполненных из материалов, не обладающих пьезоэффектом (сталь, железобетон, дюралюминий). Для этого на вход усилителя подается сигнал от электромагнитного датчика (например, от преобразователя измерителя защитного слоя бетона). При колебании конструкции, в состав которой входит ферромагнитный материал (сталь), возникает переменное магнитное поле. Магнитное поле возбуждает в катушке индуктивности электромагнитного датчика весьма слабый переменный ток. Этот ток усиливается в микрофонном усилителе и подается на линейный вход компьютера для дальнейшей обработки. Данный датчик, как и в опыте с использованием пьезоэффекта, является безынерционным и бесконтактным, то есть он не оказывает механического влияния на исследуемый колеблющийся объект и не искажает картину измеряемых колебаний. Датчик не имеет собственной резонансной частоты, или она находится далеко за пределами диапазона измерений. В этом состоит его коренное отличие от сейсмометрических датчиков маятникового типа.

Нами проведены эксперименты с балкой из оргстекла с прикрепленными к ней шариками, имитирующими структурные неоднородности конструкций, и без шариков для выяснения их влияния на скорость и форму колебаний, сдвиг фаз.

Установлено:

1. Скорость колебаний может быть значительно погашена при расположении масс (шариков) у опор, а наличие шариков по длине балки от опоры до середины способно замедлить распространение волны.

2. Выявлен эффект сдвига фаз в случаях смещения свободного края балки как в точке смещения, так и в середине длины балки, аналогичный данным натурных испытаний

железобетонной рамы [3] и свидетельствующий о необходимости учета конечной скорости распространения сейсмических волн.

3. Предложенная схема исследований поперечных колебаний стержневых конструкций может быть применена для регистрации частот колебаний строительных конструкций (или их отдельных элементов), выполненных из материалов, не обладающих пьезоэффектом (сталь, железобетон, дюралюминий).

Примечания:

1. Пересыпкин Е.Н., Юрченко Е.Е., Юрченко Е.А. Кинематический метод системного анализа конструкций зданий // Вестник СГУТиКД. 2012. № 1. С. 235–242.

2. Бивин Ю.К. Исследование электрических полей при динамическом деформировании полимеров // Журнал технической физики. 2010. Т. 80. Вып. 6. С. 58-63.

3. Хачиян Э.Е., Амбарцумян В.А. Динамические модели сооружений в теории сейсмостойкости. М.: Наука, 1981. 203 с.

Experimental Research of Lateral Shank Vibration

¹ Evgenii N. Peresypkin

² Elena E. Yurchenko

³ Evgenii A. Yurchenko

¹ Sochi State University, Russia
354000, Sochi, st. Sovetskaya, 26A
Dr. (technical), Professor
E-mail: pen40@rambler.ru

² Sochi State University, Russia
354000, Sochi, st. Sovetskaya, 26A
PhD (technical)
E-mail: wsonormalno@yandex.ru

³ Sochi State University, Russia
354000, Sochi, st. Sovetskaya, 26A
PhD student
E-mail: wsonormalno@yandex.ru

Abstract. The article describes an analogue experiment on lateral shank vibrations of structures made of organic glass and wood with the use of piezoeffect. The collected data can be used in carrying out the analysis of strain–stress structures (including seismic load).

Keywords: shank vibration, piezoeffect, oscillograph.

UDC 624.072
