

УДК 699.841

РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

В.С. Семенов, А.В. Хан

Предложена методика регистрации колебаний моделей зданий при их испытаниях на динамические, в том числе сейсмические нагрузки. Описывается конструктивное решение и принцип работы стенда для таких испытаний. Основными элементами стенда являются платформа, на которую устанавливается исследуемая модель и механизм для возбуждения колебаний, соединенный с платформой с возможностью сообщения ей возвратно-поступательного движения. Для регистрации параметров колебаний испытываемых моделей разработан комплект аппаратуры, включающий микроконтроллер Arduino Mega 2560, датчик MPU 6050 и ноутбук. Вывод данных осуществляется при помощи программного обеспечения Arduino. Полученные результаты позволяют рекомендовать этот способ регистрации колебаний и при испытаниях натуральных конструкций.

Ключевые слова: испытания; модели; здания; стенд; динамическая нагрузка.

ДИНАМИКАЛЫК КҮЧ КЕЛТИРҮҮ МЕНЕН ИМАРАТТАРДЫН МОДЕЛДЕРИН СЫНООДОН ӨТКӨРҮҮДӨ ТЕРМЕЛҮҮЛӨРДҮН ПАРАМЕТРЛЕРИН КАТТОО

Макалада имараттардын моделдерине динамикалык, анын ичинде сейсмикалык күч келтирүү менен сыноодо алардын термелүүсүн каттоо методикасы сунушталган. Мындай сыноолорду жүргүзүү үчүн конструктивдүү чечимдер жана стенддин иштөө принциби сүрөттөлөт. Стенддин негизги элементи болуп платформа эсептелет, платформага изилдөөгө алынган модель жана платформа менен бириктирилген ага кайтарып кыймылдар туралуу билдирүү мүмкүнчүлүгү бар, термелүүлөрдү пайда кылуу үчүн механизм орнотулат. Сыналуучу моделдердин термелүүлөрүнүн параметрлерин каттоо үчүн аппаратуралардын комплекти иштелип чыккан, анын ичинде Arduino Mega 2560 микроконтроллеру, MPU 6050 датчиги жана ноутбук кирет. Маалыматтарды чыгаруу Arduino программалык камсыздоосунун жардамы менен ишке ашырылат. Алынган натыйжалар бул ыкманы термелүүлөрдү каттоо жана табигый конструкцияларды сыноодо колдонууга сунуштоого мүмкүндүк берет.

Түйүндүү сөздөр: сыноо; моделдер; имараттар; стенд; динамикалык күч келтирүү.

REGISTRATION OF PARAMETERS FLUCTUATION MODELS OF BUILDINGS UNDER DYNAMIC LOADS

V.S. Semenov, A.V. Han

The article provides a methodology for the registration of fluctuations in building models with their dynamic tests, including seismic loads. It is described the design and operation of the shake table for such tests. The main elements of the shake table are the platform on which the studied model is installed and the mechanism for excitation of oscillations connected to the platform with the ability to communicate to it reciprocating motion. For registration of parameters fluctuations experienced by models, a set of instruments, which includes the Arduino Mega 2560 MCU, MPU 6050 sensor and notebook. Data output is carried out with the help of the Arduino software. The received results allow to recommend this way to register variations and test full-scale structures.

Keywords: test; model building; shake table; dynamic load.

На кафедре “Архитектура промышленных и гражданских зданий” КРСУ разработан и изготовлен стенд для испытаний моделей зданий и сооружений на сейсмостойкость [1].

Основными элементами стенда являются: платформа, на которую устанавливается исследу-

емая модель и механизм для возбуждения колебаний, соединенный с платформой с возможностью сообщения ей возвратно-поступательного движения. Между платформой и основанием установлены упругие опоры, выполненные в виде стальных пружин или резинометаллических стержней.

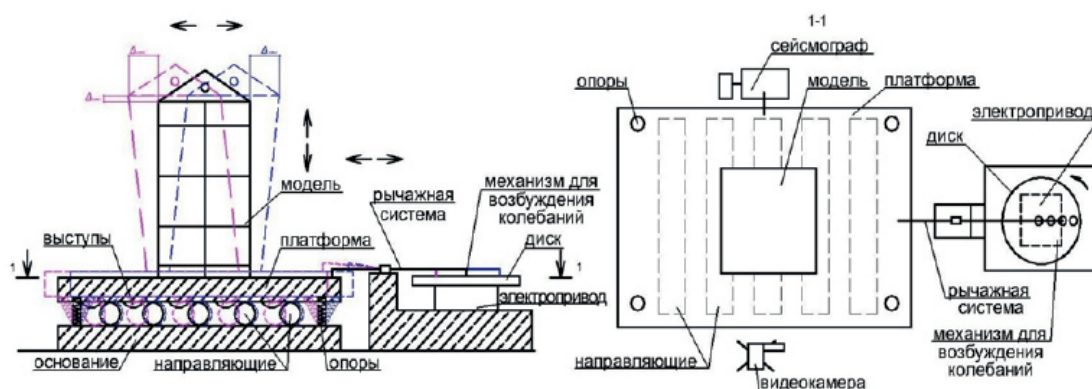


Рисунок 1 – Принципиальная схема стенда

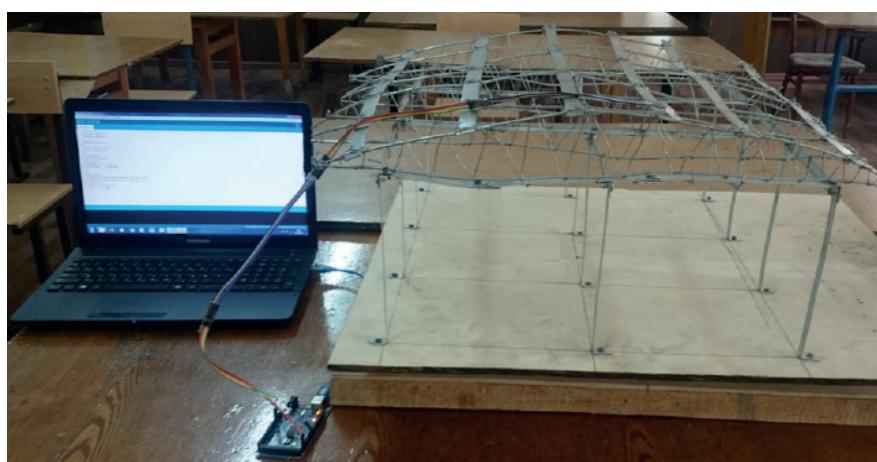


Рисунок 2 – Модель стального рамного каркаса в процессе испытаний

Регистрация колебаний платформы осуществляется сейсмографом, а модели – высокоскоростной видеокамерой. Механизм для возбуждения возвратно-поступательных колебаний выполнен в виде соединенного с платформой безколлекторного двигателя с регулятором оборотов (рисунок 1). Данный механизм дает возможность менять параметры колебаний платформы.

В 2015–2017 гг. на описываемом стенде были проведены испытания моделей стальных рамных и рамно-связевых каркасов, а также каркасов с гасителями колебаний различного типа (рисунок 2) [2].

Основная проблема испытаний, связанная с особенностями конструктивного решения моделей (небольшими размерами, малой массой и пр.), заключалась в сложности регистрации параметров их колебаний. Использование на первых этапах исследований скоростной видеокамеры позволяло фиксировать только качественные (визуальные) особенности работы моделей при динамических нагрузках. Поэтому на последующих этапах испытаний было предложено использовать элек-

тронные датчики регистрации параметров колебаний моделей.

В качестве одного из возможных решений был выбран способ регистрации колебаний при помощи микроконтроллера Arduino Mega 2560 и закрепленного на модели датчика MPU 6050 [3]. Предложенная схема испытаний показана на рисунке 3.

Микросхема MPU6050 содержит акселерометр и гироскоп и является главным элементом модуля GY-531. Гироскоп измеряет угловые скорости по трем осям с разными пределами измерений. Акселерометр определяет положение системы в пространстве (рисунок 4).

Плата Arduino Mega 2560 – это платформа для программирования различных устройств с помощью дополнительных датчиков. Имеет широкое применение в робототехнике. На плате находятся:

- USB коннектор; кварцевый генератор; разъем ICSP; разъем питания; кнопка перезагрузки.

Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB или

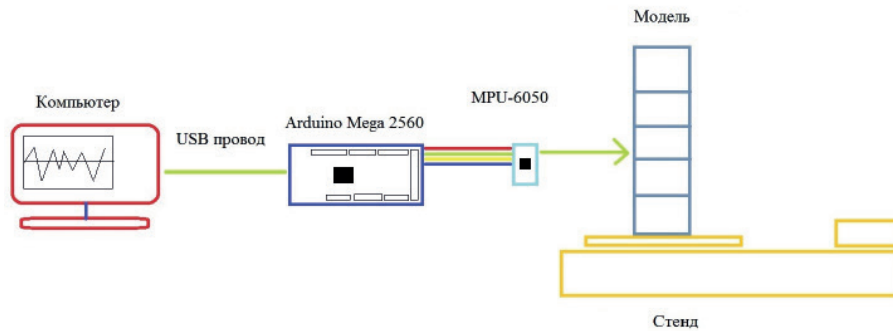


Рисунок 3 – Схема подключения приборов при испытаниях моделей

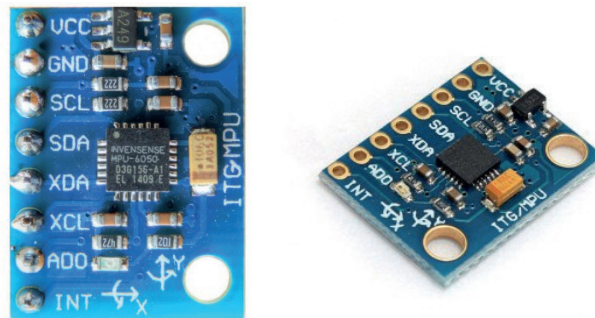


Рисунок 4 – Модуль 3-х осевого гироскопа и акселерометра GY-521 MPU-6050
Основные параметры и характеристики MPU6050

Количество осей	3
Ускорение (макс.), $\pm g$	16
Диапазон, $^{\circ}/сек$	2000
Оси	X,Y,Z
Чувствительность, LSB/g	2.048
Разрешение, бит	16
Чувствительность, $^{\circ}/сек/LSB$	0.06097
Нелинейность, %	0.2
Шум, $^{\circ}/сек$	0.05
Частота среза, Гц	1000
Интерфейс	I2C
V_{CC} , В	от 2.375 до 3.46
I_{CC} , мА	3.6
T_A , $^{\circ}C$	от -40 до 85
Корпус	QFN-24

- напряжения питания 2,375–3,46 Вольт;
- потребляемый ток до 4 мА;
- интерфейс передачи данных – I2C;
- максимальная скорость I2C – 400 кГц;
- вход для других датчиков I2C;
- внутренний генератор на 8 МГц (вне модуля возможность подключить внешний кварцевый резонатор на 32,768 кГц или 19,2 МГц)

подать питание при помощи адаптера AC/DC, или аккумуляторной батареи [4] (рисунок 5).

Вывод данных осуществляется при помощи программного обеспечения *Arduino*. Ее можно скачать с официального сайта <https://www.arduino.cc>. В программе прописывается код (скетч) и устанавливаются специальные библиотеки для датчика. Есть два вида получения данных: в численном и графическом виде.

Численный вид представляет собой столбцы из координат (x,y,z) и углов поворота (gx, gy, gz) (в программе можно задать вывод сразу всех

значений или только некоторых по отдельности). Можно настроить период появления новых данных, например каждую 1 секунду или 0,5 секунд. Есть возможность выделения этих данных и экспортирование в программу Excel для дальнейшей обработки [5].

В качестве иллюстрации предложенной методики на рисунке 6 показаны записи колебаний моделей рамного (рисунок 6, а) и рамно-связевого каркаса (рисунок 6, б).

Таким образом, использование микроконтроллера *Arduino Mega 2560* и датчика *MPU 6050*

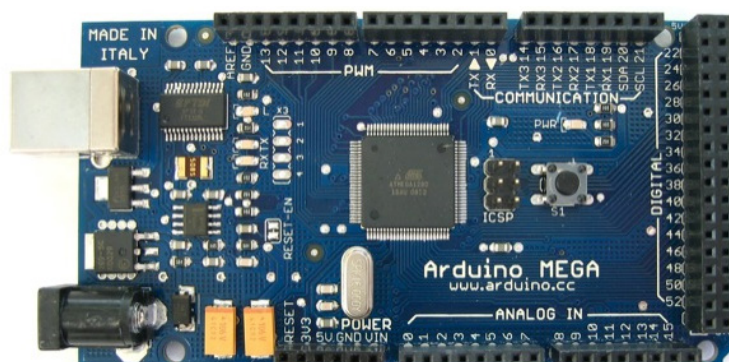


Рисунок 5 – Плата Arduino Mega 2560
Краткая характеристика

Микроконтроллер	ATmega2560
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7–12 В
Входное напряжение (предельное)	6–20 В
Цифровые Входы/Выходы	54 (14 из которых могут работать также как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	16
Постоянный ток через вход/выход	40 mA
Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 mA
Флеш-память	256 КВ (из которых 8 КВ используются для загрузчика)
ОЗУ	8 КВ
Энергонезависимая память	4 КВ
Тактовая частота	16 МГц

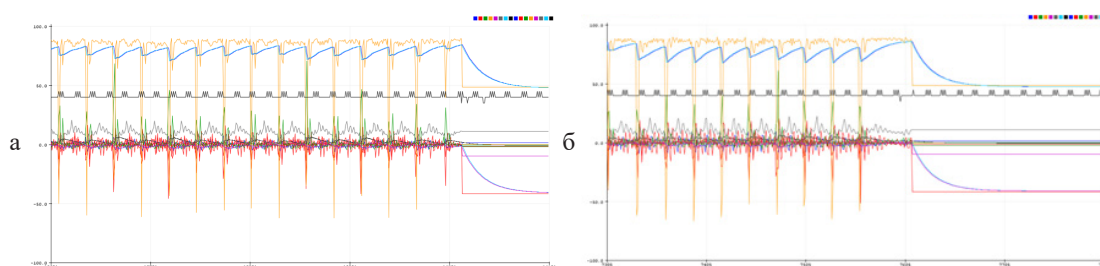


Рисунок 6 – Записи колебаний моделей рамного (а) и рамно-связевого каркаса (б)

позволило получить достаточно полную картину параметров колебаний исследуемых конструкций, в частности, моделей стального рамного и рамно-связевого каркаса.

Представляется целесообразным изучить возможность применения данной методики регистрации колебаний при проведении натурных испытаний конструкций зданий и сооружений.

Литература

1. Стенд для испытания моделей зданий и сооружений на сейсмостойкость / В.С. Семенов, Т.В. Веремко, А.В. Токарский, И.А. Черных-Рашевский. Патент № 196 КР: МПК В 06 В 1/00, G 01 М 7/06. Заявл. 16.02.15; опублик. 29.02.16. Бюл. № 3. 22 с.
2. Токарский А.В. Стенд для испытания моделей зданий и сооружений на сейсмостойкость / А.В. Токарский, Р.К. Курбаналиев // Научные достижения и открытия современной молодежи: сб. статей межд. науч.-практ. конф.; под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. Пенза: МЦРС “Наука и Просвещение”, 2017. С. 111–113.
3. URL: <https://lesson.iarduino.ru/page/urok-11-podklyuchenie-giroskopa-gy-521-mpu-6050-k-arduino/> (последнее подключение 18.03.2018)
4. URL: <http://cxem.net/mc/mc324.php> (последнее подключение 18.03.2018)
5. Блум Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства / Д. Блум; пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 336 с.