

UDC 004.2

**SURFACE VIBRATION RECORDER BASED ON ARDUINO HARDWARE  
AND SOFTWARE****ПОВЕРХНЕВИЙ ВІБРАЦІЙНИЙ РЕЄСТРАТОР НА ОСНОВІ АПАРАТНОГО ТА  
ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ARDUINO****Fedorova N.V. / Федорова Н.В.***d.t.s. / д.т.н. доцент, професор кафедри автоматизації  
проектирования энергетических процессов и систем*

ORCID: 0000-0002-4548-4198

**Redko D.V. / Редько Д.В.***undergraduate/ магістрант**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv  
Polytechnic Institute", Kyiv, Prosp. Peremohy 37, 03056**Національний технічний університет України "Київський політехнічний  
інститут ім. Ігоря Сікорського", Київ, пр-т Перемоги, 37*

**Анотація.** Наукове дослідження на тему реєстрація вібрацій на поверхні за допомогою апаратно обчислювальної платформа для аматорського конструювання Ардуіно розкриває сучасні способи створення фізичного продукту для роботи з різними видами коливань на поверхні. Система налічує багато сенсорів сумісних з платформою, та компонентів які можна легко адаптувати для роботи, завдяки платі мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовищу розробки Processing/Wiring для Ардуіно. В роботі було поставлено таку задачу, як проведення трьох дослідів з трьома різними сенсорами у різних умовах, та дослідити здатність Ардуіно до адаптації під різні задачі та оточення, а також визначити можливості кожного з сенсорів. При проведенні дослідження було виконано три тести для збору даних про роботу сенсорів, які знаходилися у однакових умовах. Метою проведеної роботи є виявлення ідеальних умов та визначення технічних здібностей кожного з сенсорів, для цього умови у кожному тесті були різні, також доведення доцільності використання системи Ардуіно для створення прототипів. Результатами проведеного дослідження встановлено, що універсального датчика для вимірювання коливань на поверхні не існує, а кожен з представлених сенсорів підійде для окремих амплітудних діапазонів та специфічних цілей. З проведеного дослідження випливає висновок, що при створенні продукту, який має здібність, або необхідність до виміру коливань на поверхні, необхідно розуміти з якими саме коливаннями буде працювати пристрій, і саме це грає ключову роль у виборі правильного сенсора для системи Ардуіно.

**Ключові слова:** Ардуіно, коливання, сенсор вібрацій.

## 1. Вступ

Колівальні процеси характерні для великої кількості природних та штучних процесів, які оточують сучасну людину. Саме робота з коливаннями, їх відтворення та вимірювання, дозволило людям так пришвидшити прогрес. У цій статті було розглянуто способи та різноманітні датчики для вимірювання коливань, різної сили, на поверхні.

Вимірювання коливань на поверхні має багато сфер застосування, починаючи з передбачення природних катастроф, закінчуючи перетворенням будь-якої поверхні на контактний інтерфейс для користувача. Система Arduino, полегшує розробку прототипів та мінімального робочого продукту для представлення інвесторам. Створену на основі Arduino плату можливо за короткий термін перетворити на самостійний пристрій, тому що Arduino має



відкритий код і схему, що дозволяє прибрати усе зайве, залишивши необхідне для правильної роботи прототипу. Сучасні підходи до розробки інформаційних технологій вимагають використання концептуального моделювання та спеціальних інструментальних засобів на етапі будування прототипу, щоб максимально зменшити витрати та пришвидшити створення мінімально дійочого продукту, який зможе довести можливість створення та використання продукту. Апаратна обчислювальна платформа Arduino для аматорського конструювання, допомагає інженерам у створенні прототипів.

## 2. Опис сенсорів які беруть участь у дослідженні

### 2.1. SW-520D – Датчик вібрації і нахилу

Датчик Sw-520D являє собою компактний датчик для ідентифікації нахилу, також може застосовуватися для вимірювання коливань на поверхні до якої прилягає пристрій. Конструкція складається з двох кульок поміщених у циліндр, які контактують з двома контактами пристрою якщо датчик перевищує певний кут, і навпаки [1]. Тільки коли датчик нахилу знаходиться у вертикальному положенні, металеві кульки всередині датчика нахилу з'єднують два контакти, завершуючи ланцюг. Коли датчик нахиляється за межі діапазону чутливості, контакти віддаляються, і таким чином розмикається ланцюг., при зміні кута чи при ударі кульки змінюють положення у циліндрі, що спричинює розмикання ланцюга, на основі якого і робиться висновок про коливання. Через простоту конструкції датчика, точність його не дуже велика, цифровий комунікаційний вихід, не дає змогу отримувати данні про силу коливань а лише про їх наявність, що унеможлиблює використання датчика для складних вимірювань, проте затримка у 2 мілісекунди дозволяє використовувати його у системах, де швидкість оклику критично важлива.

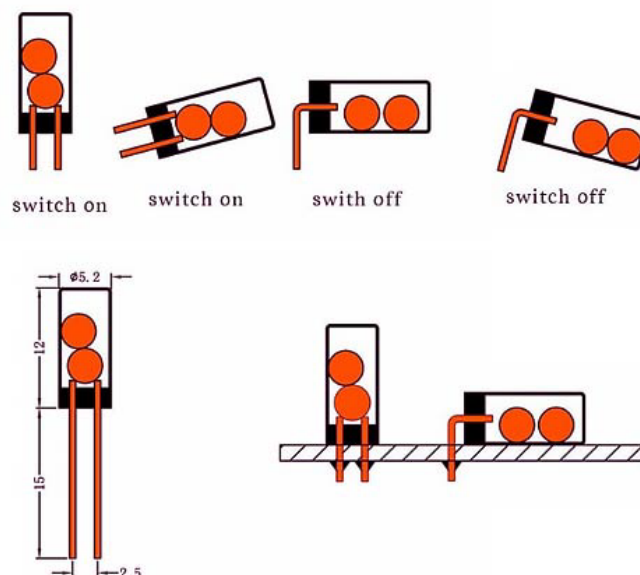


Рисунок 1 - Схема датчика SW-520D.

### 2.2. MPU-6050 – Акселерометр і гіроскоп

Датчик MPU-6050 (GY-521) модуль 3-х осьового акселерометра і 3-х осьового гіроскопа, а також температури. Гіроскоп вимірює швидкість



обертання або швидкість зміни кутового положення у часі по осях X, Y та Z [2]. Акселерометр надає можливість вимірювати гравітаційне прискорення по трьох осях, і використовуючи деяку тригонометрію, можна обчислити кут, під яким розташований датчик [3]. Отже, якщо поєднати дані акселерометра та гіроскопа, можливо отримати дуже точну інформацію про орієнтацію датчика в просторі. Датчик має можливість налаштування діапазону гіроскопу від  $\pm 250^\circ/\text{с}$  до  $\pm 2000^\circ/\text{с}$  та акселерометру від  $\pm 2g$  до  $\pm 16g$ , також передбачено багато інших налаштувань та вбудованих функцій, точність датчика гіроскопу здебільшого залежить від процесу початкового калібрування [2].

Завдяки цій компактній платі можна вимірювати коливання різної величини, від пересування пристрою до легких ударів по поверхні на якій знаходиться датчик. Аналоговий комунікаційний вихід дозволяє отримувати данні, про силу та напрямок коливань, у реальному часі, що вигідно відрізняє цей датчик від розглянутого у 2.1 датчика SW-520D. Для точного вимірювання куту нахилу використовують базову тригонометрію та дискретне інтегрування кутової швидкості, для отримання більш точного куту нахилу, оскільки Arduino відкрите середовище, більшість необхідних формул уже описане у бібліотеках створених користувачами. Точне вимірювання коливань у меншій мірі потребує даних з гіроскопа і у більшій з акселерометра [4], але обчислення куту нахилу корисне для визначення у якій площині відбуваються коливання.

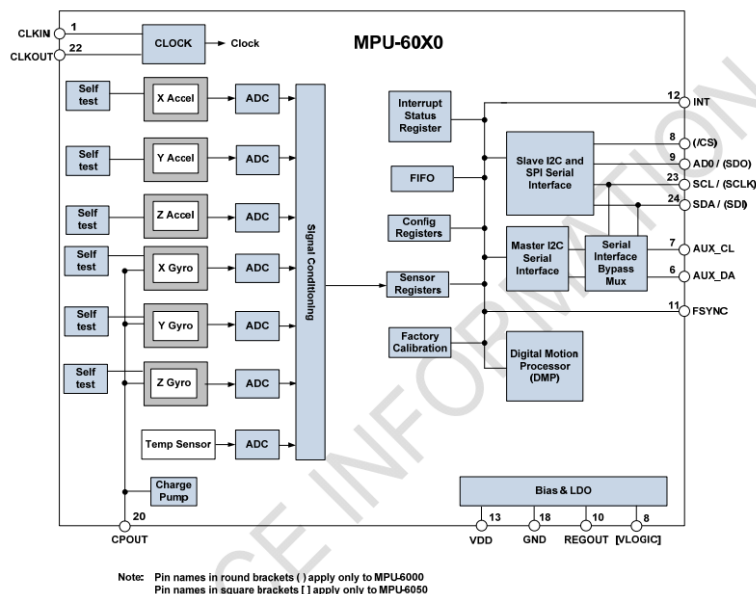


Рисунок 2 - Опис пінів для датчика MPU-60X0

### 2.3. Звукознімач п'єзоелектричний

П'єзоелектричні перетворювачі – пристрої, що використовують п'єзоелектричний ефект у кристалах, кераміці або плівках і перетворюють електричну енергію на механічну і навпаки.

Використовуючи кристалічну плівку, яку можна помістити на бажану поверхню, можна вимірювати коливання які впливають на п'єзоелемент. Такий датчик використовують у музичних інструментах, щоб перетворювати коливання струн в електричний сигнал, який може бути надалі посилений або



записаний. Із сфери використання можна судити про точність такого датчика, тому п'єзоелектричний звукознімач підійде, для проектів де точність та відсутність шумів надважлива. Існує велика кількість п'єзоелемент різних конфігурацій, штучних та природних, які мають різні властивості, тому є можливість підібрати необхідний для конкретної задачі [5].

### 3. Опис досліджень

Для наглядного порівняння усіх трьох датчиків SW-520D, MPU-6050 та п'єзоелектричного звукознімача було створено схему на базу Ардуїно, щоб усі 3 датчики зчитували інформацію одночасно, було проведено декілька вимірювань з різною силою, амплітудою та інтенсивністю коливань. На основі отриманих даних, було створено порівняльні графіки на яких можна побачити як під час експерименту ведуть себе різні пристрої. Окремий дослід був проведений у стані відносного спокою, для виміру шуму.

Схема зібрана на основі Arduino Uno [6] мікроконтролера на базі ATmega328P [7]. Він має 14 цифрових контактів входу/виходу (з яких 6 можна використовувати як ШІМ виходи), 6 аналогових входів, керамічний резонатор 16 МГц (CSTCE16M0V53-R0), USB-з'єднання, роз'єм живлення, роз'єм ICSP. Схема відносно проста, складається з самої плати Arduino Uno, датчика SW-520D, резистора на 10 кОм, датчика MPU-6050 та п'єзоелектричного датчика Avzhezh P-007, який було розроблено для музичних інструментів. Усі датчики окрім п'єзоелектричного надсилають сигнал до Ардуїно, а п'єзоелектричний звукознімач напряму до комп'ютера як мікрофон.

Оскільки датчики працюють у різному діапазоні, результати необхідно опрацювати для наглядності порівняння, таким чином результат від цифрового датчика SW-520d тепер показує 100 при виявленні коливань, а данні з MPU-6050 поділені на 20000 та помножені на 100.

#### 3.1. Опис схеми

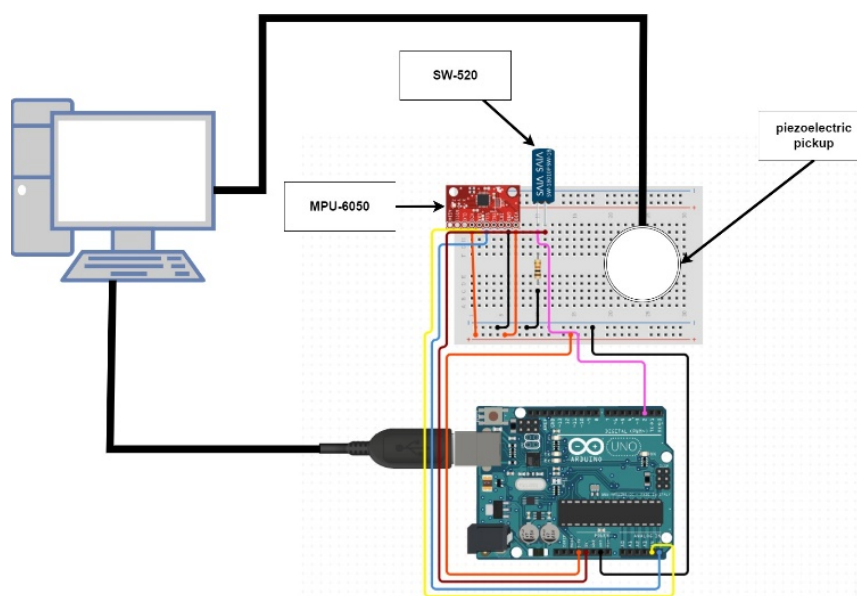


Рисунок 3 - Схема приладу

Датчик Sw-520D підключений до третього цифрового виходу, коли кульки у середині сенсора замикають ланцюг цифровий вихід номер три, на платі,



починає отримувати одиниці, тобто напругу у розмірі 3,3 вата. Сенсор MPU-6050 має більш складний інтерфейс підключення, вихід VCC підключений до плюса, GND до землі, виходи SCL та SOA підключаємо до аналогових виходів A5, A4 відповідно. Виходи A4 та A5 обумовлені бібліотекою MPU6050.h, яку було використано при написанні коду [9]. П'єзоелектричний звукознімач підключений до комп'ютера напряду через Jack (1/4") - Mini-Jack 1/8" (3.5 мм) перехідник. Уся схема працює від джерела енергії 3,3 вата, та розташована на макетній платі [7].

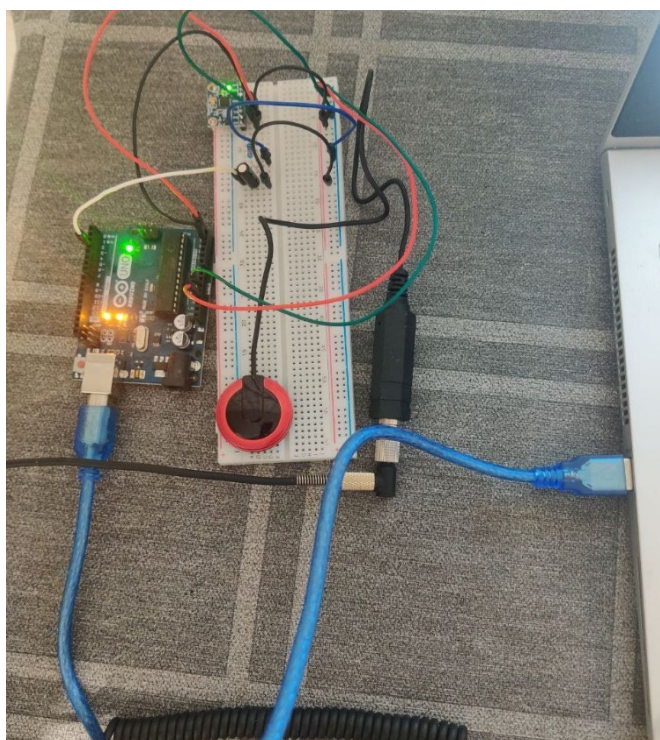


Рисунок 4 - Вигляд пристрою

### 3.2. Опис результатів дослідження #1

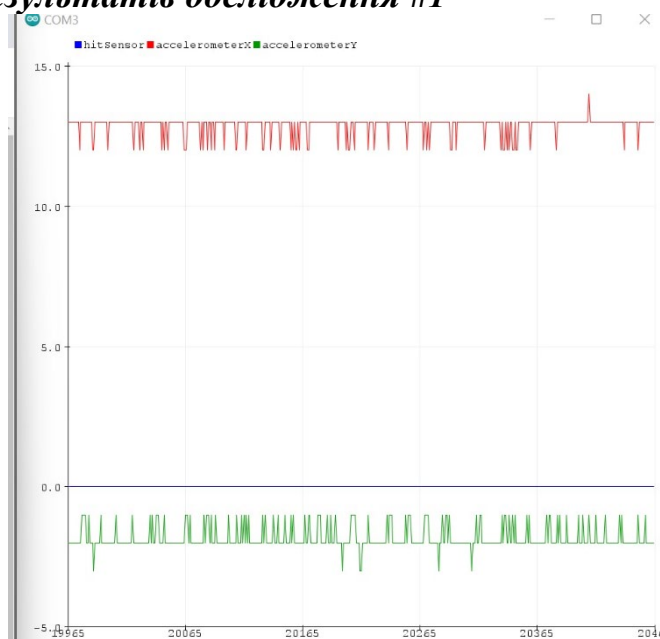
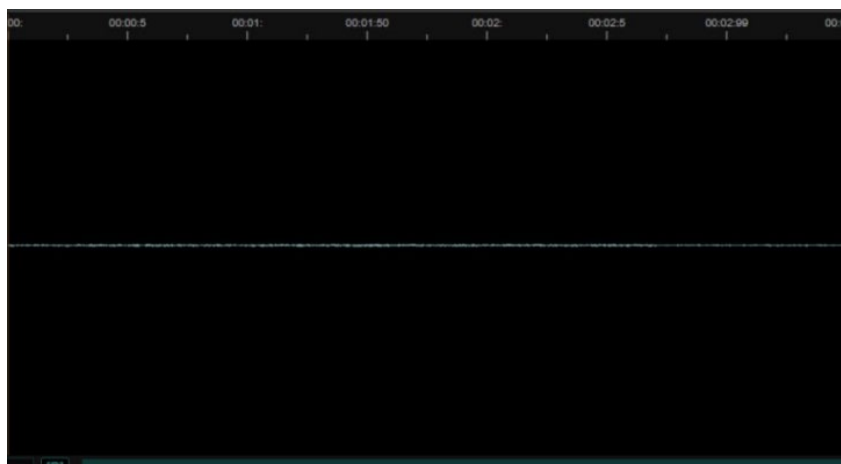


Рисунок 4 - Результати з датчиків SW-520d та MPU-6050 для першого тесту



Перше дослідження було проведено у стані відносного спокою, на пристрій, та на поверхню на якій він знаходиться не впливали механічно, тому результати можна розцінювати як побічний шум, який виникає при роботі різних датчиків.



**Рисунок 5 - Результати з п'єзоелектричного датчика для першого тесту**

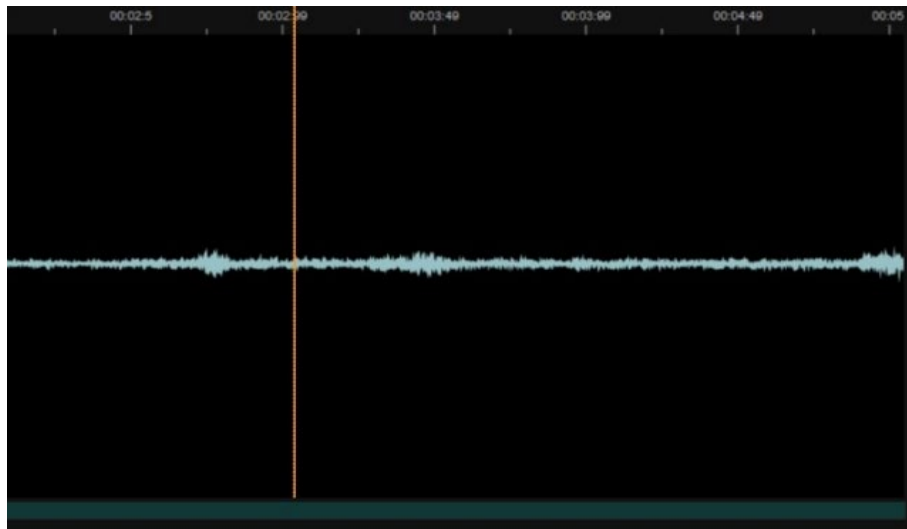
У результаті, на графіку, видно, що найбільша амплітуда коливань спостерігається у акселерометра для датчика MPU-6050, амплітуда коливань по осі X та Y дорівнює 5 умовним позначкам. Показник датчика SW-520D, синій лінія на графіку, незмінний протягом усього тесту, а п'єзоелектричний датчик реєструє малі коливання, мабуть від роботи куллера ноутбуку [8].

### **3.3. Опис результатів дослідження #2**

У другому досліді поверхня на якій знаходиться пристрій, у даному випадку це стіл, було під механічним впливом, приблизно на відстані 10 сантиметрів до макетної плати, на якій знаходяться усі датчики. Ритмічні удари відбувалися раз у секунду під час усього експерименту. На графіках зображено однаковий період часу для усіх датчиків.



**Рисунок 6 - Результати з датчиків SW-520d та MPU-6050 для другого тесту**

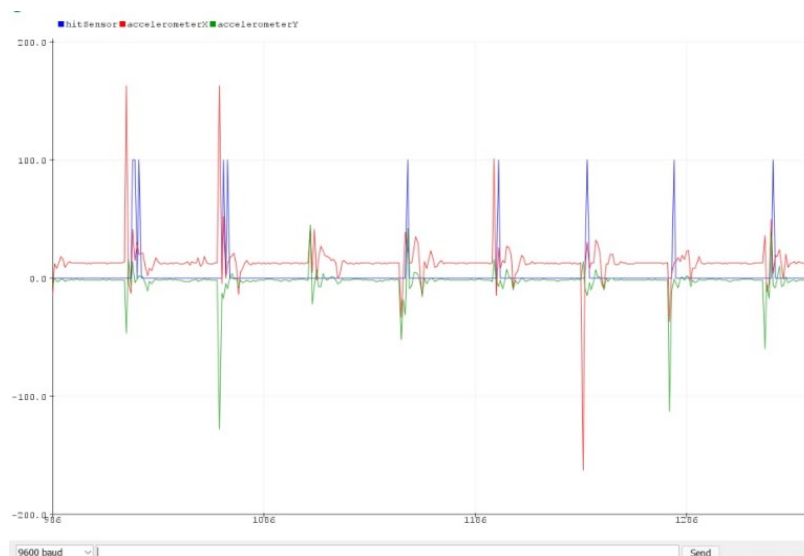


**Рисунок 7 - Результати з п'єзоелектричного датчика для другого тесту**

Як можемо побачити на графіках сили удару по поверхні не достатньо для роботи сенсора SW-520D, синя лінія на фігурі шість незмінна, навіть при третьому ударі, якій відносно сильніший ніж інші п'ять. Датчик MPU-6050, точно зареєстрував усі шість ударів по поверхні і заміряв їхню силу, амплітуда коливань сягала двадцяти п'яти одиницям. Комбінація показників акселерометра по осі X та Y, може збільшити загальну точність пристрою, якщо коливання відбуваються не у одному напрямку, чи сам пристрій знаходиться під нахилом. П'єзоелектричний датчик не зміг зареєструвати усі шість ударів, а тільки три найпотужніші, які не дуже чітко видно на графіку. Показники п'єзоелектричного датчика збільшили шуми, що може вказувати на його здатність реєструвати не тільки сильні удари, а й затухаючі коливання, які виникають після.

### **3.4. Опис результатів дослідження #3**

У третьому досліді легкі удари приходилися уже по самому пристрою, а саме по вільному простір на макетній платі між усіма датчиками. Так само, як і у другому тесті, ритмічні удари відбувалися раз у секунду під час усього експерименту. На графіках зображено однаковий період часу для усіх датчиків.



**Рисунок 8 - Результати з датчиків SW-520d та MPU-6050 для третього тесту**



**Рисунок 9 - Результати з датчиків SW-520d та MPU-6050 для третього тесту**

Під час третього тесту датчик SW-520D почав реєструвати коливання, синя лінія на графіку, це очікувано, тому що такий датчик позначено як сенсор удару, тому такий результат вважаю задовільним, хоч він і не показав один із максимумів, які зареєстрували інші сенсори.

Акселерометр датчика MPU-6050, у порівнянні з другим тестом тільки збільшив амплітуду, тому що сила удару збільшилися, так само точно зареєстрував усі вісім ударів по поверхні, та відобразив їх на графіку з показником сили для кожного.

П'єзоелектричний датчик показав себе найкраще, у третьому досліді, на графіку можна побачити вісім максимумів, та те як матеріал пристрою коливається після ударів.

### **Висновки**

У результаті дослідження було проведено три тести з трьома різними сенсорами, які використовуються у різних сферах, але мають спільну здібність до реєстрації коливань на поверхні, під час дослідження особлива увага приділялася точності сенсорів у різних умовах, таким чином можна зробити висновки окремо для кожного датчика.

Сенсор SW-520D, має найменшою чутливістю серед представлених, його застосовують, як датчик нахилу або удару, тому лише при прямих ударах по поверхні пристрою він їх реєструє, такий сенсор може бути корисним для автомобілів, або у сферах де відбуваються високоамплітудні коливання, а бо удари і не важлива сила удару, тільки його наявність.

MPU-6050 показав себе найкраще серед представлених, акселерометр, хоч і показує найбільший рівень шумів, але зміг точно розпізнати усі удари як по корпусу пристрою, так і по поверхні на який він знаходиться. Через наявність гіроскопу, акселерометра та термометра, кількість сфер та проектів де така плата буде корисна, дуже велика.

П'єзоелектричний датчик найчутливіший з представлених, його графік надає найбільше інформації про коливання, але його робота залежить від





підсилювачів, як і будь якого пристрою який працює зі звуком. Пристрій Avzhezh P-007 являє собою мікрофон для корпусу гітар і повинен використовуватися у комбінації з підсилювачем, але данні, які можна отримати від такого датчика найбільш точно показують малоамплітудні коливання такі як звук.

У висновку хочу додати, що кожен з сенсорів потрібно підбирати виходячи з задачі, а універсального датчика не існує.

### Література:

- [1] SW-520D Documentation [Електронний ресурс] – <https://www.tme.com/Document/f1e6cedd8cb7feeb250b353b6213ec6c/SW-520D.pdf>.
- [2] MPU-6050 Datasheet [Електронний ресурс] – <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
- [3] Padma Nyoman Crisnapati, Putu Desiana Wulaning, I Nyoman Rudy Hendrawan, Anak Agung Ketut Bagus Bandanagara, “Earthquake Damage Intensity Scaling System based on Raspberry Pi and Arduino Uno,” The 6th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM 2018), Inna Parapat Hotel – Medan, August 7-9, 2018
- [4] N. K. Wargantiwar, A. S. Barbade, A. P. Shingade, A. N. Shire, “Wireless Earthquake Alarm Design based on MEMS Accelerometer,” International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, vol. 4, Special Issue 3, pp. 128-132, January 2017
- [5] П'єзоелектричний звукознімач [Електронний ресурс] - [https://uk.wikipedia.org/wiki/Електромагнітний звукознімач](https://uk.wikipedia.org/wiki/Електромагнітний_звукознімач).
- [6] Picking the Right Arduino [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://medium.com/@baldengineer/picking-the-right-arduino-341a0a9550c7>
- [7] Arduino ATmega328P Datasheets Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://content.arduino.cc/assets/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://content.arduino.cc/assets/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)
- [8] Richard J. Smythe “Arduino Measurements in Science, Advanced Techniques and Data Projects“.

***Abstract.** Research on the registration of vibrations on the surface using a computer hardware platform for amateur design Arduino reveals modern ways to create a physical product to work with different types of surface oscillations. The system has many sensors compatible with the platform, and components that can be individually adapted to work, the microcontroller board with I/O elements and the Processing/Wiring development environment for Arduino. The task was to conduct three experiments with three different sensors in different conditions, and to investigate the ability of Arduino to adapt to different tasks and environments. During the study, three tests were performed to collect data on the operation of sensors that were in the same conditions. The purpose of this work is to identify ideal conditions and determine the technical capabilities of each of the sensors, for which the conditions in each test were different, as well as proving the feasibility of using the Arduino system to create prototypes. The results of the study show that there is no universal sensor for measuring surface vibrations, and each of the presented sensors is suitable for individual amplitude ranges and specific purposes. The study concludes that when creating a*



*product that has the ability or need to measure oscillations on the surface, it is necessary to understand what oscillations the device will work with, and this plays a key role in choosing the right sensor for the Arduino system..*

**Key words:** *Arduino, fluctuation, vibration sensor.*

Стаття відправлена: 19.04.2022 г.

© Федорова Н.В., Редько Д.В.