

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 004.31

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/49>

Карягін Г.Є.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Корнєв В.П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИМІРЮВАЛЬНО-СИГНАЛІЗАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС СЕЙСМІЧНОГО ТИПУ

Стаття спрямована на вирішення задачі оцінки загальної маси та швидкості руху транспортних засобів, а також визначення їх технічних особливостей (кількість осей підвіски та інше) без припинення руху транспортного засобу різної маси та габаритів. Задача вирішується шляхом використання сенсорів сейсмічного типу – геофонів. Автором розроблено функціональну модель пристрою, здатного оцінити масу, швидкість та встановити напрямок руху транспортного засобу, який рухається шляхами загального призначення. Створено програмне забезпечення на мові програмування Python для керування функціями мікрокомп'ютера Raspberry Pi та додаткової периферії, що дозволяє обмін інформацією між мікрокомп'ютером та геофонами. Також була створена програма аналізу результатів отриманих від вимірювальної частини системи.

Запропонована система є придатною для використання відповідними державними службами при проведенні контролю маси та швидкості наземних транспортних засобів оскільки створює можливість проводити попередню об'єктивну оцінку повної маси транспортного засобу і прийняти рішення про необхідність зупинки для подальшого проведення стандартної процедури зважування. Це безумовно посприяє підвищенню надійності запобігання пересуванню перенавантажених транспортів шляхами України, і тим самим збільшенню періоду безпечної експлуатації доріг, а також і суттєвому зниженню втрат товаро-перевізників та збереженню часу та зусиль контролюючих органів внаслідок зменшення кількості невинуватих затримок вантажів. Важливо і те, що за дана системи дає можливість проводити статистичне дослідження навантаження певних ділянок автошляхів для планування ремонтних робіт та попередження виникнення аварійно небезпечних ситуацій на дорогах.

Ключові слова: геофон, оцінка маси та швидкості, транспортний засіб, хвильові форми, мікрокомп'ютер Raspberry Pi.

Постановка проблеми. Задача моніторингу трафіку руху та параметрів наземного транспорту автомобільними шляхами є актуальною як для України, так і для будь-якої країни світу [1]. Державні та прикордонні служби застосовують різні методи та апаратуру для вимірювання маси транспортних засобів та швидкості їх руху. Але, якщо вимірювання швидкості є достатньо усталеною процедурою, що забезпечена технічним оснащенням та регламентується відпрацьованою законодавчо-нормативною базою, то для вимірювання маси транспортних засобів використовують зазвичай спеціально відведені місця та/або бокси, обладнані спеціалізованими

зважувальними приладами [2]. Зазначимо, що забезпечення можливості проведення регулярного контролю маси транспортних засобів (особливо вантажних) і моніторингу інтенсивності їх руху шляхами загального призначення є важливою умовою належної експлуатації дорожнього покриття автошляхів, ґрунтового планування і своєчасного проведення ремонтних робіт дорожнього покриття. Все це сприяє збільшенню періоду безпечної експлуатації доріг та врешті економії коштів, що в масштабах країни має суттєве значення.

Одним з чинників руйнування дорожнього покриття є механічний вплив автотранспорту на

дорожнє покриття (тиск великої маси вантажного автомобіля, яка передається на поверхню дороги через колісну пляму контакту). Особливо цей руйнівний ефект проявляється у спекотну пору року, коли асфальтове покриття розігрівається до температур, за яких стає найбільш вразливим. Для зниження руйнівного впливу багатотоннажних автомобілів на поверхню дороги влітку вводиться обмеження на пересування транспорту з повною масою більше 38(40) тон [3]. Контроль повної маси вантажного автомобіля є однією з найважливіших умов збереження автомобільних доріг в належному стані. Отже, пошук технічних засобів визначення таких параметрів транспортних засобів, як маса, швидкість та тип (легкові, вантажні, кількість осей підвіски) у автоматичному режимі без припинення їх руху є актуальною задачею.

Аналіз наявних досліджень і публікацій.

На сьогоднішній день для контролю додержання вимог по навантаженню транспортні служби проводять вибірковий контроль маси вантажних автомобілів на спеціально оснащених стаціонарних пунктах зважування. При проведенні такої процедури спочатку за непрямыми ознаками обирають вантажний автомобіль для перевірки, зупиняють його і вже потім проводять зважування.

Цей підхід має певні недоліки:

по-перше, необхідно обов'язково зупиняти автомобіль та затримувати його для проведення процедури зважування. Це завдає певних незручностей і втрат від затримки у доставці комерційного вантажу, а у випадках, коли результат зважування показуватиме відсутність перевищення дозволеної маси, ці вимушені затримки транспорту і витрати часу та зусиль персоналу на проведення процедури перевірки будуть не виправданими;

по-друге, оскільки рішення про зупинку транспорту уповноважена людина приймає на основі непрямих суб'єктивних суджень, то існує ймовірність пропустити (не виявити) транспортний засіб з перевищенням граничного значення ваги (40 т), що врешті спричинятиме ще більші втрати.

Наявні методи вирішення задачі оцінки напруженості транспортного потоку здебільшого засновані на застосуванні акустичних сенсорів [4]. Даний підхід не дає можливість оцінювати масо-швидкісні показники автомобілів, що рухаються, а тільки виявляє їх певні технічні характеристики. Інші методи теж дають можливість лише зафіксувати факт руху транспортних засобів або їх присутності [4,5], не надаючи ніякої інформації про їх масу.

Постановка завдання. Метою статті є надати наукові і технічні основи створення системи автоматизованого попереднього визначення параметрів транспортних засобів (маса, швидкість) без припинення їх руху.

Виклад основного матеріалу

Ідея рішення задачі і її технічна реалізація

Ідея підходу до визначення маси транспорту полягає в спробі кількісно оцінити сейсмічні прояви, спричинені вібраційним впливом, який створює цей транспортний засіб на поверхню дороги під час його руху по ній.

Дійсно, під час руху транспортний засіб створює вібраційний вплив на поверхню, який передається від центру маси на покриття дороги через пляму контакту (колеса) [2,6]. Вібрації великої маси створюють поверхневі сейсмічні хвилі, які здатні розповсюджуватись на декілька кілометрів від джерела збудження. Амплітуда сейсмічних хвиль пропорційна масі рухомого засобу та відстані від джерела вібрації.

Таким чином, якщо поблизу дорожнього покриття розмістити сенсори, які діють на сейсмічному принципі, то за амплітудою поверхневих хвиль від рухомого транспорту можна вимірювати його масу. В якості таких сенсорів можуть виступати геофони, які знайшли широке використання в геологорозвідці [5]. Пікове значення хвильового сейсмічного сигналу буде відповідати найбільшому наближенню транспортного засобу до місця розміщення приладу ресстрації. Якщо ж вздовж дороги на фіксованій відстані розмістити два сейсмічні пристрої(геофони) і визначити тривалість часу між піковими значеннями амплітуд отриманих від них сигналів сейсмічних коливань, то стане можливим оцінити середню швидкість руху транспортного засобу на цьому відрізку шляху за відомою формулою:

$$V = \frac{d}{t_2 - t_1}, \quad (1)$$

де: t_1, t_2 – моменти часу, які відповідають піковим значенням сигналу двох геофонів; d – відстань між геофонами в метрах.

Схема розміщення сейсмічних пристроїв для проведення вимірювання показана на рис. 1. Пікові значення сигналів A1 та A2 пропорційні масі транспортного засобу.

Для виявлення моменту часу надходження максимуму сигналу, який відповідає одному і тому ж транспортному засобу в автомобільному потоці, можна застосувати взаємну кореляційну функцію від двох записів сигналів геофонів:

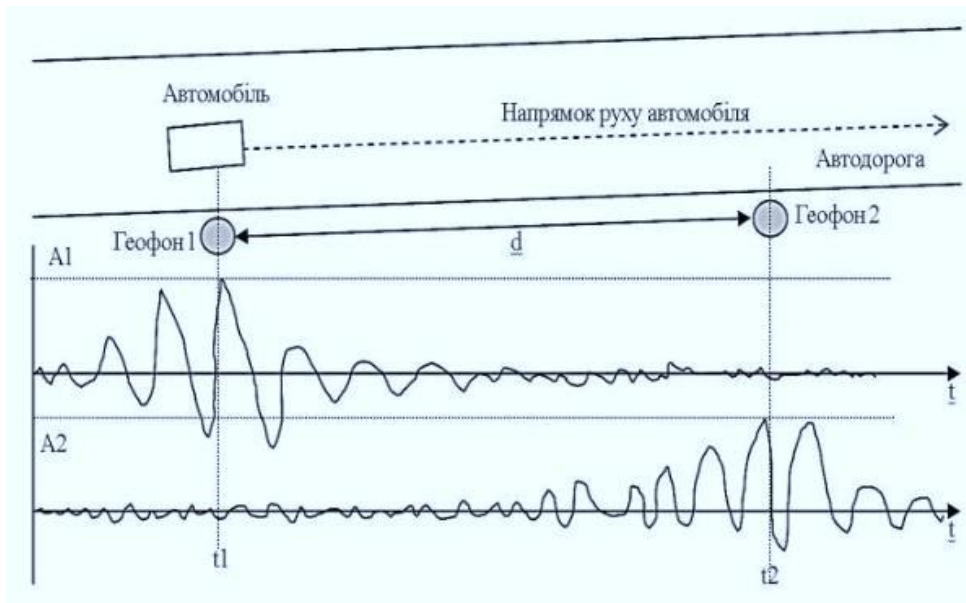


Рис. 1. Схема розміщення сейсмічних пристроїв (геофонів) вздовж автомобільного шляху та приклад запису хвильових форм на геофонах 1 та 2. A1 та A2 – пікове значення сигналу з геофонів 1 та 2. Моменти часу t1 та t2 відповідають піковим значенням сигналів з геофонів

$$S(\Delta t) = \frac{\sum_{i=t_2}^{t_1} [A(i) * B(i + \Delta t)]}{t_2 - t_1} \rightarrow \max, \quad (2)$$

де: A, B – дискретні масиви значень сейсмічних сигналів у задані дискретні моменти часу;

t_1, t_2 – моменти часу, які відповідають піковим значенням сигналів від геофонів;

Δt – інтервал часу між записом сигналу з другого геофону відносно першого.

Для визначення відповідності між отриманим піковим значенням сигналу від геофона та масою рухомого транспортного засобу необхідно провести початкове калібрування пристрою. Для цього вантажний автомобіль з відомим показником повної маси на різних швидкостях проїжджає по конкретному відрітку дороги, де розміщені геофони. Після цього виконується вимірювання пікових значень, які заносяться до таблиці результатів досліджень, за статистичною обробкою яких створюється таблиця налаштувань (юстировки) пристрою.

Для перевірки правильності теоретичних міркувань та оцінки потенційних можливостей системи створено функціональну модель вимірювально-сигналізаційного комплексу сейсмічного типу (ВСКСТ).

Модель ВСКСТ має такі основні елементи (рис. 2):

- геофони;
- двоканальний АЦП;
- мікрокомп'ютер;
- програма роботи з АЦП;

– програма обробки інформації.

Для перевірки прийнятих рішень шляхом проведення натурального експерименту створено макет ВСКСТ на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi. В якості програмного середовища встановлено операційну LINUX-подібну систему RASPBIAN. Для підтримки роботи прецизійного багатоканального 24-розрядного АЦП WaveShare [8], під'єданого до мікрокомп'ютера, написана програма на мові програмування Python.

Завдання програми роботи з АЦП:

- оцифрувати аналогові сигнали від геофонів;
- записати отримані дані в текстовий файл.

Робота з отриманими даними (текстовим файлом) проводилась іншою програмою, яка дозволяє відобразити оцифровані дані хвильових форм на екрані комп'ютера, а також проводити масштабування та фільтрацію даних за допомогою смугового фільтру Баттерворта. Програма написана на мові Object Pascal в середовищі Delphi 7,0 [9].

Експериментальне дослідження

Тестування виготовленого експериментального макету ВСКСТ проводилося у січні 2021 року на ділянці дороги, яка з'єднує селище Клавдієве (Бородянський р-н., Київська обл.) з трасою Київ-Ковель. Географічні координати місця проведення експерименту: +50,5931 Пн.ш +30,010823 Сх.д. Цей відрізок був обраний тому, що автомобільний трафік на ньому досить помірний, що дозволило отримати якісні дані для запису в файл.

Геофони були розміщені вздовж автошляху на відстані 39 метрів один від одного. Відстань від гео-

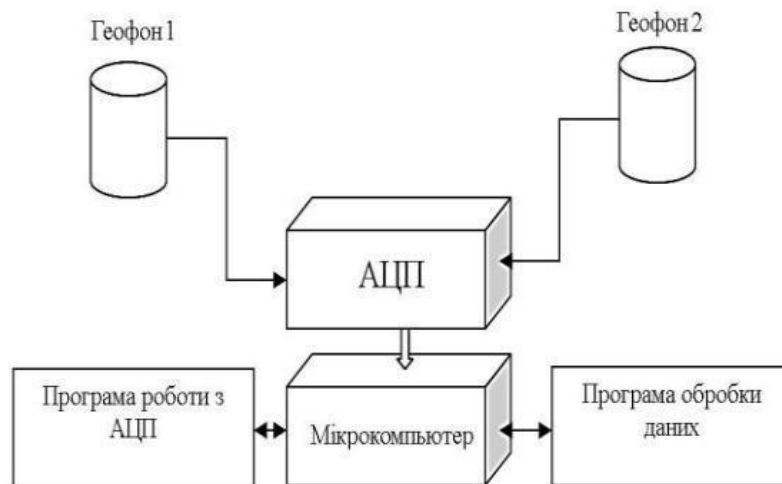


Рис. 2. Структурна схема вимірювально-сигналізаційного комплексу сейсмічного типу



Рис. 3. Запис хвильових форм з двох геофонів

фонів до дорожнього покриття – 1 м. Частота квантування АЦП – 30 Гц. Дана частота була обрана з декількох міркувань. По-перше, частота вібрацій основних елементів вантажного транспорту (силовий агрегат, рама, підвіска) знаходиться в межах від 5 до 12 Гц. По-друге, розмір записаних файлів даних мав невеликий об'єм, що на момент проведення експерименту мало важливе значення.

В ході реєстрації даних були отримані файли з хвильовими формами від автомобілів, що рухаються на даній ділянці автошляху. На рис. 3 показаний файл даних для вимірювання тривалістю 3 хвилини.

Хвильові форми від двох геофонів відрізняються кольорами: зелений колір – геофон № 1, червоний – геофон № 2. В нижньому вікні наведено відфільтровані в смузі частот від 5 до 15 Гц.

На графіку відфільтрованих хвильових форм (рис. 4) можна виділити 5 сигналів від автомобілів, що рухались повз геофони, вздовж лінії їх розташування.

З рисунку 4 можна побачити, що першим зреагував геофон № 1 (червоний колір), другим – геофон № 2 (зелений колір). Порядок реагування геофонів свідчить про те, що автомобіль рухався в напрямку виїзду з міста. Пікове значення сигналу (точка, що відповідає найменшій відстані від геофона до автомобіля) на геофоні № 1 відповідає відліку 1480, на геофоні № 2 – 1555. Така відстань між відліками АЦП (75) відповідає проміжку часу у 2,5 секунди. При відстані між геофонами, яка дорівнює 39 м, швидкість руху автомобіля можна розрахувати як 15,6 м/с (56,2 км/год).

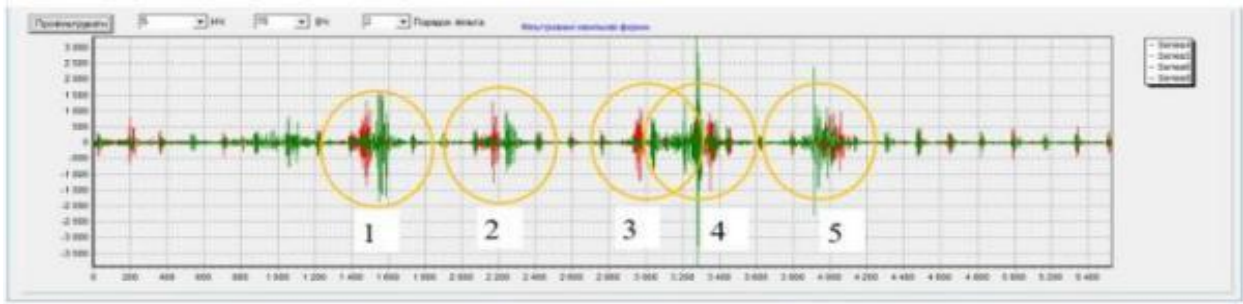


Рис. 4. Сигнали від автомобілів №№ 1-5 виділені помаранчевими колами

Таблиця 1

Розраховані параметри руху транспортних засобів

№	Тип автомобіля	Напрямок руху	Різниця часу між сигналами від геофонів, відліків (секунд)	Оцінена швидкість км/год	Амплітуда сигналу (квантів)
1	Легковик	З міста	75 (2,5)	56,16	3400
2	Легковик	З міста	73 (2,43)	57,78	2400
3	Легковик	З міста	76 (2,53)	55,49	2300
4	Автобус	До міста	74 (2,46)	57,07	6900
5	Легковик	До міста	85 (2,85)	49,26	4700

Серед п'яти корисних сигналів, записаних від автомобілів, сигнали №№ 1, 2, 3, 5 були створені легковими автомобілями. Сигнал № 4 був створений міським автобусом.

З рисунку 4 також видно, що пікові значення сигналів від легкових автомобілів майже однакові та лежать в межах 2500–3500 відліків вимірюваного сигналу. Повна маса легковика складає від 1500 до 3500 кг. Амплітуда сигналу № 4 від автобусу значно більша (7000–7500 відліків) внаслідок більшої рухомої маси порівняно з легковим автомобілем. Маса автобусу складає від 3500 до 7600 кг. Це підтверджує гіпотезу стосовно існування певної кореляції між рухомою масою автомобіля та піковим значенням сигналу. Також на рисунку 4 можна побачити, що пікове значення сигналу від легковика на геофоні № 1 починає перевищувати сейсмічний фон на відліку 1380. Пікове значення відповідає відліку 1480

Розраховані під час експерименту параметри автомобілів наведено у таблиці 1.

Отже, геофон починає реагувати на поверхневій коливання землі на відстані приблизно 130 м від пункту реєстрації. В даному експерименті, автобус був зафіксований за 234 м до пункту реєстрації.

Висновки. У роботі запропоновано спосіб оцінки характеристик транспортних засобів без їх зупинки шляхом аналізу сейсмічних відгуків від пари геофонів. Створено програмно-апаратне

рішення, що реалізує запропонований підхід. Зокрема, створено програмне забезпечення для вимірювання сейсмічних відгуків від пари геофонів з використанням мікрокомп'ютера Raspberry Pi та 24-розрядного АЦП. Розроблено програмне забезпечення для аналізу та візуалізації вимірних сейсмічних відгуків.

Дієвість запропонованого рішення підтверджена результатами експериментальних досліджень.

Запропонованим методом можна без припинення руху транспортного засобу оцінити такі параметри: дата, час, напрямок і швидкість руху та загальна маса транспорту.

Чутливість для даної ділянки бетонної дороги при розміщенні сейсмічних сенсорів на відстані 39 м для легкового транспорту складає 100–150 м (корисний сигнал починає перевищувати фон), для вантажного транспорту ця відстань складає 200–400 м. Показник чутливості пропорційно залежить від швидкості пересування транспорту, його маси та властивостей дорожнього покриття.

Одночасно виявилось, що чутливість для реєстрації людини (пішохода) складає 30–40 м. По довжині кроку можна оцінити вік, стать та зріст людини, що є предметом подальших досліджень.

Запропонована система є придатною для використання відповідними державними службами при проведенні контролю маси та швидкості

наземних транспортних засобів оскільки створює можливість проводити попередню об'єктивну оцінку повної маси транспортного засобу і прийняти рішення про необхідність зупинки для подальшого проведення стандартної процедури зважування. Це безумовно посприяє підвищенню надійності запобігання пересуванню перенавантажених транспортів шляхами України, і тим самим збільшенню періоду безпечної експлуатації доріг,

а також і суттєвому зниженню втрат товаро-перевізників та збереженню часу і зусиль контролюючих органів внаслідок зменшення кількості невинуватених затримок вантажів.

Важливо і те, що дана система дає можливість проводити статистичне дослідження навантаження певних ділянок автошляхів для планування ремонтних робіт та попередження виникнення аварійно небезпечних ситуацій на дорогах

Список літератури:

1. Ваговий контроль на автошляхах України. Вагові норми вантажних перевезень, порядок здійснення контролю та відповідальність за їх порушення. Підготовлено адвокатом Пономарьовим М.М. /Свідоцтво про право на зайняття адвокатською діяльністю № 4915 від 27.03.2012, на замовлення Асоціації "Аграрних перевізників України". URL: <http://artimmer.com/ua/publicacii/%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9-%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B1%D0%B5%D0%B7/268-vagovij-kontrol%60-na-avtoshlyхах-ukra%D1%97ni> (Інформація актуальна станом на травень 2016 року).
2. Габаритно-ваговий контроль в Україні та СНГ: вимоги до автотранспорту та реалії перевірок. URL: <https://ua.transportica.com/blog/gabatitno-vesovoj-kontrol-v-ukraine-i-sng/>
3. User Guide RDC setup and deployment. *Digital Barriers plc*. Version 2.0 August 2018.
4. Охоронна система Sensoguard. URL: <https://www.sensoguard.com/> (дата звернення 25.01.2024р.)
5. Охоронна система Гофер. URL: <http://gofer.ua/product/oxranna-ya-sistema/> (дата звернення 25.01.2024р.)
6. В.С. Гавриш. Аналіз методів оцінки транспортної вібрації в межах зон впливу автомобільних доріг. *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. Луцьк, 2014. Випуск № 45 ©В.С. Гавриш 108 УДК 625.72
7. Юшков Б.С., Сергієв А.С. Вплив вібрації на основі автомобільної дороги на схилі. *Сучасні проблеми науки та освіти*. – 2015. № 2-2.
8. Опис плати АЦП Waveshare. URL: <https://www.waveshare.com/wiki/File:High-Precision-AD-DA-User-Manual.pdf> (дата звернення 25.01.2024)
9. Текст програми для перегляду хвильових форм записаних в файл URL: https://github.com/glib2002/Waveforms-wieverV1.0-for-geophone-/blob/master/Wavewiever.pas_ (дата звернення 25.01.2024)

Kariahin G.Ye., Kornev V.P. SEISMIC-TYPE MEASURING AND SIGNALING COMPLEX

The article is aimed at solving the problem of estimating the total weight and speed of movement of vehicles, as well as determining their technical features (number of suspension axles, etc.) without stopping the movement of vehicles of different weights and dimensions. The task is solved by using seismic-type sensors – geophones. The author has developed a functional model of a device capable of estimating the mass, speed, and direction of a vehicle moving on general purpose roads. Software in the Python programming language was created to control the functions of the Raspberry Pi microcomputer and additional peripherals, which allows the exchange of information between the microcomputer and geophones. A program for analyzing the results obtained from the measuring part of the system was also created.

The proposed system is suitable for use by the relevant state services when controlling the mass and speed of ground vehicles, as it makes it possible to conduct a preliminary objective assessment of the total weight of the vehicle and to make a decision on the need to stop for further carrying out the standard weighing procedure. This will definitely contribute to increasing the reliability of preventing the movement of overloaded vehicles on the roads of Ukraine, and thereby increasing the period of safe operation of roads, as well as significantly reducing the losses of freight carriers and saving the time and efforts of controlling authorities due to the reduction of the number of unjustified cargo delays. It is also important that this system makes it possible to carry out a statistical study of the load of certain sections of highways for planning repair works and preventing the occurrence of dangerous situations on the roads.

Key words: *geophone, estimation of mass and speed, vehicle, waveforms, Raspberry Pi microcomputer.*