

## **РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОМОБІЛЯ З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ**

*Тімков О.М.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, alex\_127@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7925-7030

*Яценко Д.М.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, y\_d2@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

## **DEVELOPMENT OF PHYSICAL MODEL VEHICLE WITH REMOTIONAL CONTROL FOR EXPERIMENTAL STUDIES OF VEHICLE PROPERTIES**

*Timkov O.M.*, PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, alex\_127@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7925-7030

*Yashchenko D.M.*, PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, y\_d2@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

## **РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЯ С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ**

*Тимков А.Н.*, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, alex\_127@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7925-7030

*Яценко Д.Н.*, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, y\_d2@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

### **Постановка проблеми.**

Експериментальні дослідження належать до основних засобів для одержання нових наукових знань, особливо в технічних науках. До їх основи закладено експеримент, що являє собою науковий дослід або спостереження у точно контрольованих умовах. Вони дозволяють прослідкувати послідовно за його перебігом, керувати експериментом, проводити його при повторенні в адекватних умовах. Від звичайного пасивного спостереження явищ експеримент відрізняється активним впливом дослідника на процес або об'єкт, які треба вивчити.

Головна мета експерименту – перевірка теоретичних положень (підтвердження робочої гіпотези), накопичення числових значень параметрів для досліджуваних об'єктів, виявлення їх властивостей. Експеримент намагаються провести в стислі строки, з мінімальною витратою матеріальних і трудових ресурсів.

Подібність фізичних процесів і систем широко використовується в техніці для дослідження методом моделювання. Відомі роботи Сахно В.П., Дячука М.В., Абрамова Л.С. та інших вчених присвячені використанню експериментальних моделей в наукових дослідженнях [1, 2, 3].

У тих випадках коли математичне рішення задачі ускладнене, а то й просто неможливе, цілком природним є звернення до експериментального дослідження на моделях з подальшим перерахунком отриманих результатів на натуру, яка є прототипом моделі. При цьому модель і натура повинні перебувати між собою у відношеннях подібності [4 – 8].

Дослідження на моделях дозволяє прискорити або сповільнити процеси, які в природних умовах розвиваються зі швидкістю, що ускладнюють спостереження за ними. При проведенні експерименту безпосередньо на натурі майже завжди доводиться відмовлятися від активного пошуку оптимальних конструктивних рішень, бо це пов'язано зі значними витратами коштів, а не рідко і просто не можливо.

Ці принципи полягають у дотриманні умов, які визначають співвідношення між параметрами моделі і натурі, а також правила перерахунку досліджуваних величин з моделі на натуру і назад. Однак, відомо, що жодна модель не може з абсолютною точністю відтворити досліджуваний оригінал — для цього має бути повна їх тотожність. Тому при моделюванні намагаються зберегти в моделі принаймні ті характеристики натурі, які є найбільш важливими у загальній картині фізичного процесу, забезпечуючи задану точність результатів. Тому метою досліджень є розробка фізичної

моделі автомобіля з дистанційним керуванням оснащеною вимірювальною та реєструючою апаратурою, для експериментального дослідження властивостей автомобілів.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Принцип механічної подібності може бути покладений в основу побудови однотипних машин. Якщо будь-яку машину прийняти за зразок (модель) та завдатися коефіцієнтом подібності, то можна побудувати ряд подібних машин. Закон механічної подібності повинен вказати масштаби, в яких потрібно змінити розміри різних частин, щоб отримати машини, подібні даному зразку. Вибір коефіцієнтів подібності базується на наступних міркуваннях:

$$\rho = mj = m \frac{\Delta V}{\Delta t} = m \frac{\Delta l}{\Delta t^2} .$$

Теорія подібності охоплює всі механічні явища, які можуть бути різноманітні по відношенню до якої-небудь механічної величини. Наприклад, сили можуть залежати: 1) від часу, 2) від відстані, 3) від швидкості, 4) від маси, 5) залишатися постійними.

Для машин коефіцієнтом подібності можна визначити деяку механічну величину. При цьому машини, подібні в одному відношенні, можуть виявитися не подібними в іншому, наприклад нерівномісними. А так як міцність для машин має суттєве значення, то порушення подібності у відношенні до міцності повинно бути завжди перевірено і може бути вирішальним для вибору коефіцієнта подібності.

Фізичною моделлю автомобіля є зменшена копія об'єкта дослідження, наділена тими ж фізичними властивостями, що і оригінал, експеримент проводиться з моделлю. Для фізичної моделі не обов'язкова модель математична, отже це спрощує розрахунки, а дані можна отримувати напряму з об'єкту дослідження, використовуючи датчики, записуючі елементи і т.п., а рух задавати виконавчими пристроями [9].

В роботі розроблена модель легкового автомобіля категорії М1 для проведення експериментальних досліджень (рис. 1).

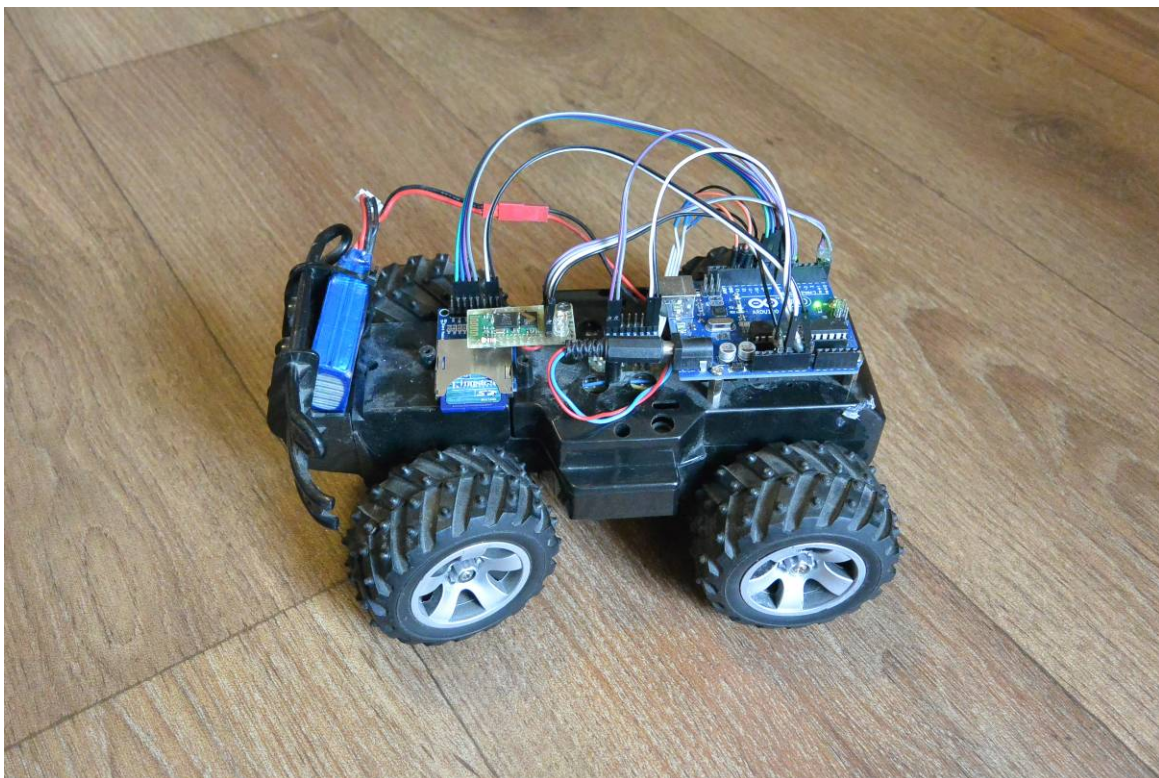


Рисунок 1 – Модель автомобіля з керованим колісним модулем  
Figure 1 – Vehicle model with controllable wheel module

Прототипом для фізичної моделі легкового автомобіля було обрано легковий автомобіля категорії M1 Daewoo Lanos 1.5. Це автомобіль з колісною формулою 4x2. Його повна маса 1595 кг, власна маса 1070 кг. Довжина складає 4237 мм, колія 1405 мм, база 2520 мм.

Для розробки моделі перш за все потрібно визначити розмірність елементів (розмірна чи безрозмірна величина) і похідність (які величини будуть прийняті за базові, а які можна визначити з інших). Для вивчення механічних явищ достатньо ввести три основні одиниці виміру: для довжини, маси або сили і часу. Залежність одиниці виміру похідної величини від одиниць виміру базових величин можна представити у вигляді формули розмірності. Для визначення фізичної подібності найбільше поширена на даний час система розмірності СГС [9].

У даній системі розмірності всіх фізичних величин мають вигляд степеневого одночлена:

$$L^l M^m T^t.$$

При розрахунку подібності прийнято використовувати  $\pi$ -теорему, згідно з якою для побудови моделі необхідно і достатньо  $p=n-k$  безрозмірних величин, де  $n$  – кількість фізичних змінних, які описуються за допомогою  $k$  фундаментальних фізичних величин. З  $\pi$ -теореми випливає, що якщо дві динамічні системи описані однаковими диференціальними рівняннями, то рішення диференціальних рівнянь буде масштабно незмінним при тих самих  $\pi$  групах. Щоб модель була динамічно подібна до оригіналу, величини цих  $\pi$  груп повинні бути однакові для обох систем. Базуючись на цій ідеї, можна визначити параметри моделі відповідні реальним [9].

Обрано масштаб для зменшення 1:18 його визначений за базою автомобіля. Колісна база шасі реального і зменшеного автомобіля є фіксованою. Довжина фізичної моделі автомобіля 235 мм, колісна база 137 мм, колія 117 мм. Розмір шин фізичної моделі розраховується прирівнюванням  $\pi$  групи, що відповідає розміру шин зменшеної копії, до  $\pi$  групи реального автомобіля, що є

$$(R/I)_{\text{оригіналу}} = (R/I)_{\text{моделі}}.$$

Розмір шин автомобіля 155/80 R13 або 175/70 R13. Підставляючи значення оригіналу, отримуємо  $R_{\text{моделі}} = 38$  мм. Ширина шин моделі тягача 38 мм. Для обчислення маси моделі припускаємо, що густина моделі та оригіналу однакова, тоді з подібності

$$(\rho l^3/m)_{\text{моделі}} = (\rho l^3/m)_{\text{оригіналу}},$$

отримуємо споряджену масу фізичної моделі автомобіля 0,615 кг.

За основу фізичної моделі взято шасі від моделі автомобіля. Поворот керованих коліс задає сервопривод Blade Inductrix, який приводить у рух поздовжню тягу рульової трапеції, котра, у свою чергу, повертає цапфи керованих коліс. Фізична модель приводиться до руху одним колекторним електромотором Motor (RC 473) з механічним редуктором, від якого крутний момент передається на задню ведучу вісь.

Швидкість руху та кут повороту керованих коліс фізичної моделі задає оператор за допомогою пульта керування, який реалізовано на базі Android пристрою. Команди з пульта передаються за Bluetooth каналом через приймальний модуль до мікроконтролера Arduino Uno. Який, після обробки отриманих сигналів керування та виконання заданих алгоритмів, передає керуючий сигнал до драйверу електромоторів (рис. 2). Після підсилення керуючого сигналу за струмом відбувається керування електромоторами ведучої осі та керованих коліс. Мікроконтролер Arduino Uno дозволяє запрограмувати необхідні дії роботи електромоторів на мові програмування C++.

У даному випадку алгоритм програми складений наступним чином: по-перше, перевіряється наявність зв'язку з пультом керування за Bluetooth каналом, при розриві з'єднання фізична модель припиняє виконання будь-яких попередніх команд і відразу ж зупиняється. При відновленні зв'язку виконання команд починається з початку. В першу чергу обробляється команда заданої швидкості руху. По-друге, виконується команда повороту керованих коліс, якщо модель рухається прямо, то працює лише електромотор ведучої осі. Якщо ж, надходить команда повороту керованих коліс і модель має повертати, то одночасно працюють обидва електромотори.

Зважаючи на те, що модель розроблено для оцінки маневрених властивостей автомобіля за розробленою математичною моделлю з переднім керованим колісним модулем при русі з різними швидкостями, елементи підвіски не моделюються.

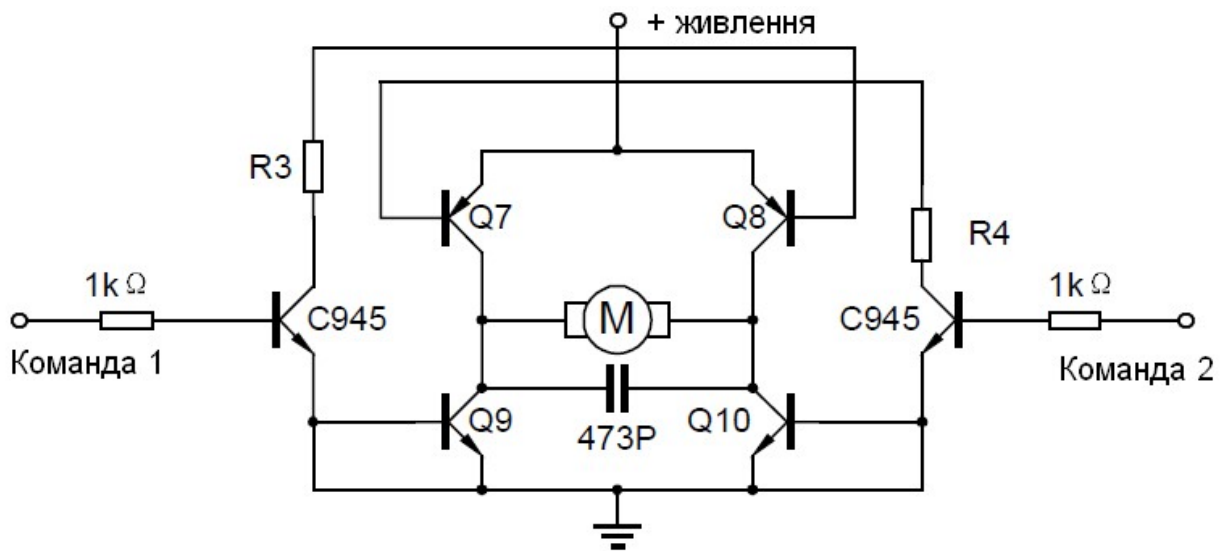


Рисунок 2 – Електрична схема транзисторного драйверу колекторного електромотора  
Figure 2 – Electrical circuit diagram of transistor driver collector electric motor

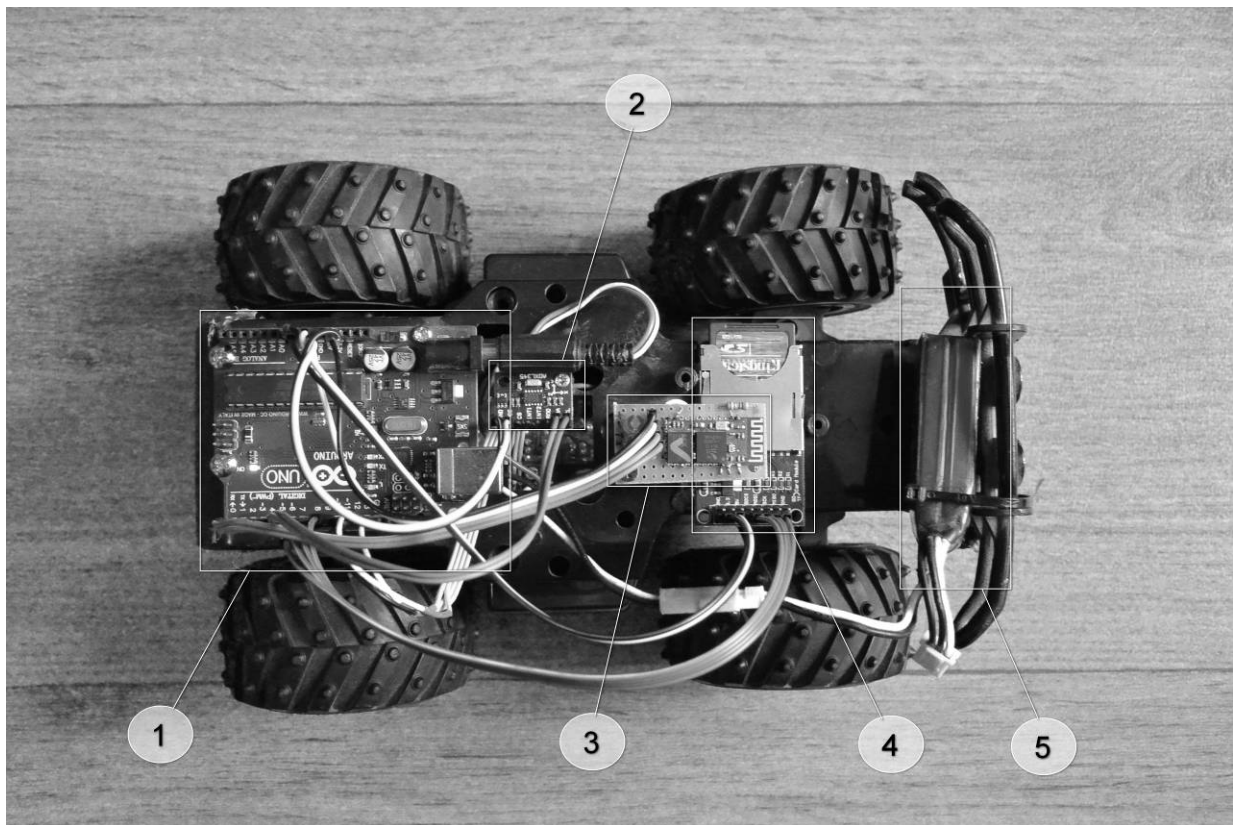


Рисунок 3 – Розташування елементів на моделі автомобіля:  
1 Arduino uno, 2 акселерометр ADXL345, 3 Bluetooth модуль HC – 06, 4 Модуль SD карти пам'яті, 5 літієва батарея живлення 7,4В.  
Figure 3 – Location of the elements on the vehicle model:  
1 Arduino uno, 2 accelerometer ADXL345, 3 Bluetooth module HC – 06, 4 SD memory card module, 5 lithium battery 7,4 V power supply.

Фізична модель автомобіля (рис. 3) оснащено такими приладами.

1. Плата для програмування Arduino Uno з мікроконтролером Atmel 328PU. Зовнішній вигляд якої наведено на рис. 4, а технічну характеристику представлено у табл. 1. Мікроконтролер має 14



цифрових входів / виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи широтно-модульованого (ШИМ) сигналу), 6 аналогових входів, 1 послідовний порт UART, при необхідності можуть бути програмно задіяні інші цифрові порти, кварцовий генератор 16 МГц, USB конектор, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопка перезавантаження. Для роботи необхідно підключити мікроконтролер до комп'ютера за допомогою кабелю USB або подати живлення за допомогою адаптера DC. Arduino Uno сумісна з усіма платами розширення, розробленими для платформ Uno або Duemilanove [10].

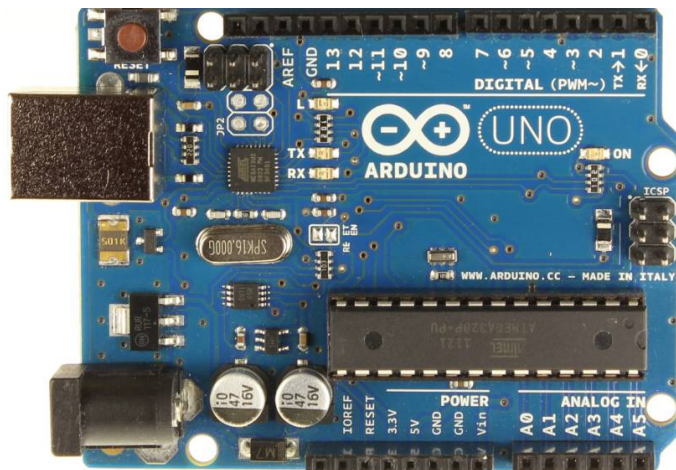


Рисунок 4 – Мікропроцесорна плата Arduino Uno  
Figure 4 – Microprocessor board Arduino Uno

На платформі Arduino Uno встановлено декілька пристроїв для забезпечення зв'язку з комп'ютером, іншими пристроями Arduino або мікроконтролерами. Atmel 328PU підтримують послідовний інтерфейс UART TTL (5В), що здійснюється виводами 0 (RX) та 1 (TX). Встановлена на платі мікросхема ATmega8U2 конвертує даний інтерфейс в USB протокол, програми на стороні комп'ютера "спілкуються" з платою через віртуальний COM порт.

Середовищем розробки плат Arduino є багатоплатформовий Java додаток, що заснований на мові Processing. Синтаксис даного середовища подібний до C++, але використовує деякі додаткові бібліотеки. Після успішної компіляції програма передається у процесор засобами віртуального COM-порту. Вбудований у середовище розробки монітор порту дозволяє реалізувати зворотній зв'язок із платою у процесі виконання програми. Можлива передача команд процесору, а також зчитування та відображення даних.

Таблиця 1 – Технічна характеристика Arduino Uno  
Table 1 – Technical characteristics of Arduino Uno board

| Параметр                    | Значення        |
|-----------------------------|-----------------|
| Розміри                     | 68 x 53 x 15 мм |
| Частота                     | 16 МГц          |
| Флеш пам'ять                | 32Кб            |
| Діапазон робочих температур | -30 ... +60 °C  |
| Робоча напруга              | 7 ... 12 В      |
| Маса                        | 55 г            |

2. Акселерометр ADXL345 – крихітний мікропотужний акселерометр з вимірюванням по трьом вісям, який має високу роздільну здатність (13 біт). Діапазон вимірювання прискорення становить до  $\pm 16$  g. Результат вимірювання подається у вигляді 16-розрядних чисел в додатковому коді через цифрові інтерфейси SPI або I2C [11].

Даний акселерометр ADXL345 ідеально підходить для використання в мобільних пристроях – він вимірює статичне прискорення (викликане гравітацією) в задачах визначення відхилення, або динамічного прискорення, викликане рухом або ударами. Заявлена висока чутливість акселерометра –  $4 \cdot 10^{-3}$  g/LSB, тому він дозволяє точно відслідковувати зміну відхилення менш ніж на  $1.0^\circ$ . Режим

зниженого енергоспоживання датчика дозволяє реалізувати інтелектуальне управління живленням системи. Зовнішній вигляд датчика наведено на рис. 5, а технічна характеристика в табл. 2.

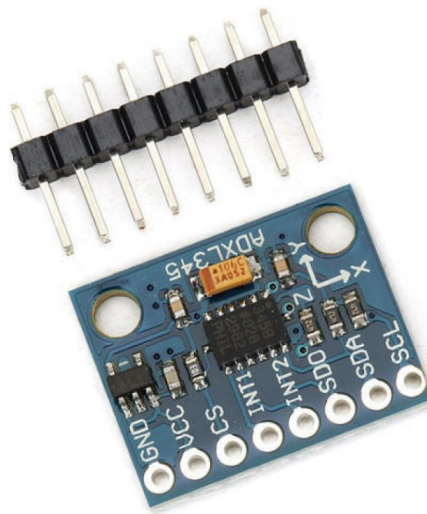


Рисунок 5 – Акселерометр ADXL345

Таблиця 2 – Технічна характеристика акселерометра ADXL345  
Table 2 – Technical characteristics of accelerometer ADXL345

| Параметр                    | Значення          |
|-----------------------------|-------------------|
| Розміри                     | 20x15мм           |
| Діапазон вимірювання        | + / - 16g         |
| Інтерфейси що підтримує     | I2C, SPI          |
| Чутливість                  | 13bit, 4 мг / LSB |
| Діапазон робочих температур | -30 ... +60 °C    |
| Робоча напруга              | 3 ... 5 V         |

Калібрування чипів ADXL здійснюється на фабриці до рівня точності, достатньої для більшості цілей. Для критичних сфер застосувань, де потрібна більша точність, можна встановити калібрування датчика самостійно. Калібрування не змінює вихід датчика. Але дозволяє визначити, який вихід датчика відповідає якій опорної вісі та в якому напрямі. Знаючи це, можна визначити виправлену вихідну величину зчитування датчика. Методика калібрування докладно описана в роботі [12] для роботи з платою потрібно використовувати відповідні набори бібліотек з командами, їх можна завантажити за посиланнями [13, 14].

3. Bluetooth модуль HC – 06, забезпечує безпроводне підключення Arduino Uno до інших пристроїв за bluetooth каналом зв'язку. Зовнішній вигляд модуля наведено на рис. 6, а його технічна характеристика в табл. 3 [15, 16].

Модуль HC – 06 працює в пасивному режимі, тобто спочатку потрібно виконати команду пошуку на керуючому (Master) пристрої (ноутбук, телефон), знайти пристрій HC – 06 (за замовчуванням його ім'я HC – 06), після цього в Майстер-пристрої з'явиться послідовний порт, в подальшому все що буде надіслано до нього з'явиться на вашому Arduino Uno, і навпаки, все що Arduino Uno надішле вам буде прийнято на вашому пристрої. Якщо необхідно, можна налаштувати всі параметри модуля за допомогою AT команд, які наведено в роботі [17]. Приклад роботи з модулем HC – 06 наведено в статті [18].

Зручніше за все підключити модуль HC – 06 через перехідник USB-Serial до комп'ютера, підключитися терміналом до створеного послідовного порту на швидкості 9600 і спробувати відправити тестову AT команду "AT" (важливо: відсилати треба саме великі літери, інакше модуль не відповість), у відповідь має прийти "OK", якщо це так значить все налаштовано вірно, якщо у відповідь нічого не прийшло, треба перевірити підключення, зокрема чи правильно підключені лінії Rx та Tx, та чи правильно подано живлення (при включенні, на модулі HC – 06 мають блимати світлодіоди).



Рисунок 6 – Bluetooth модуль HC – 06  
Figure 6 – Bluetooth module HC – 06

Таблиця 3 – Технічна характеристика Bluetooth модуля HC – 06  
Table 3 – Technical characteristics of Bluetooth module HC – 06

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Параметр                    | Значення       |
| Розміри                     | 50x33 мм       |
| Інтерфейси що підтримує     | SPI            |
| Діапазон робочих температур | -30 ... +60 °C |
| Робоча напруга              | 5 ... 10 В     |

4. Модуль SD карти пам'яті, керування модулем здійснюється за протоколом SPI. Модуль має вбудований лінійний стабілізатор напруги на 3.3В AMS1117-3.3. Всі виходи SD модуля карти пам'яті підключені до штирового роз'єму та мають позначення. Модуль SD карти пам'яті має два отвори для кріплення. Зовнішній вигляд модуля наведено на рис. 7, а його характеристика в табл. 4, [19]. З прикладом налаштування модуля карти пам'яті можна ознайомитися за посиланням [20].

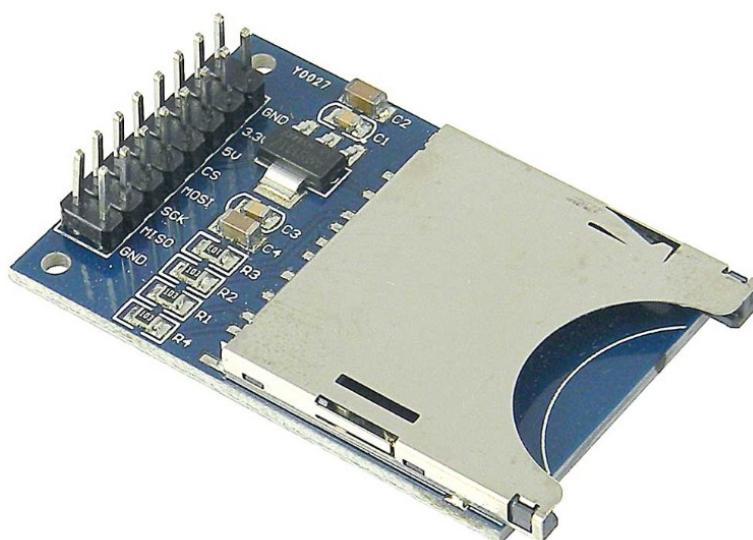


Рисунок 7 – Модуль SD карти пам'яті  
Figure 7 – Module SD memory card

Таблиця 4 – Технічна характеристика модуля SD карти пам'яті  
Table 4 – Technical characteristics of SD memory card module

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Параметр                    | Значення       |
| Розміри                     | 50x33 мм       |
| Інтерфейси що підтримує     | SPI            |
| Діапазон робочих температур | -30 ... +60 °C |
| Робоча напруга              | 5 ... 10 В     |

5. Літієва батарея для живлення електронних модулів фізичної моделі автомобіля має номінальну напругу 7,4 В.

Програмне забезпечення розробленої фізичної моделі автомобіля складається з програми записаної безпосередньо до пам'яті мікроконтролера Arduino Uno, Воно дозволяє вести діалог із користувачем, котрий вводить команди із сенсорного телефону або планшету та бази Android (рис. 8). Вимірянні дані про кут повороту керованих коліс, швидкість, прискорення за трьома координатними вісями зберігаються на SD карту пам'яті у цифровому вигляді безпосередньо в процесі руху моделі.

Алгоритм керуючої програми складається з двох функціональних частин, до першої частини відноситься код який здійснює керування рухом фізичної моделі та відповідає за обмін даними за Bluetooth каналом з мобільним пристроєм. Код цієї частини детально описаний в роботі доступною за посилання [21], інтерфейс програми на пристрої користувача наведено на рисунку 8. Додаток “Arduino Bluetooth RC Car” для встановлення на Android пристрій доступний для завантаження з Google Play за посиланням [22].

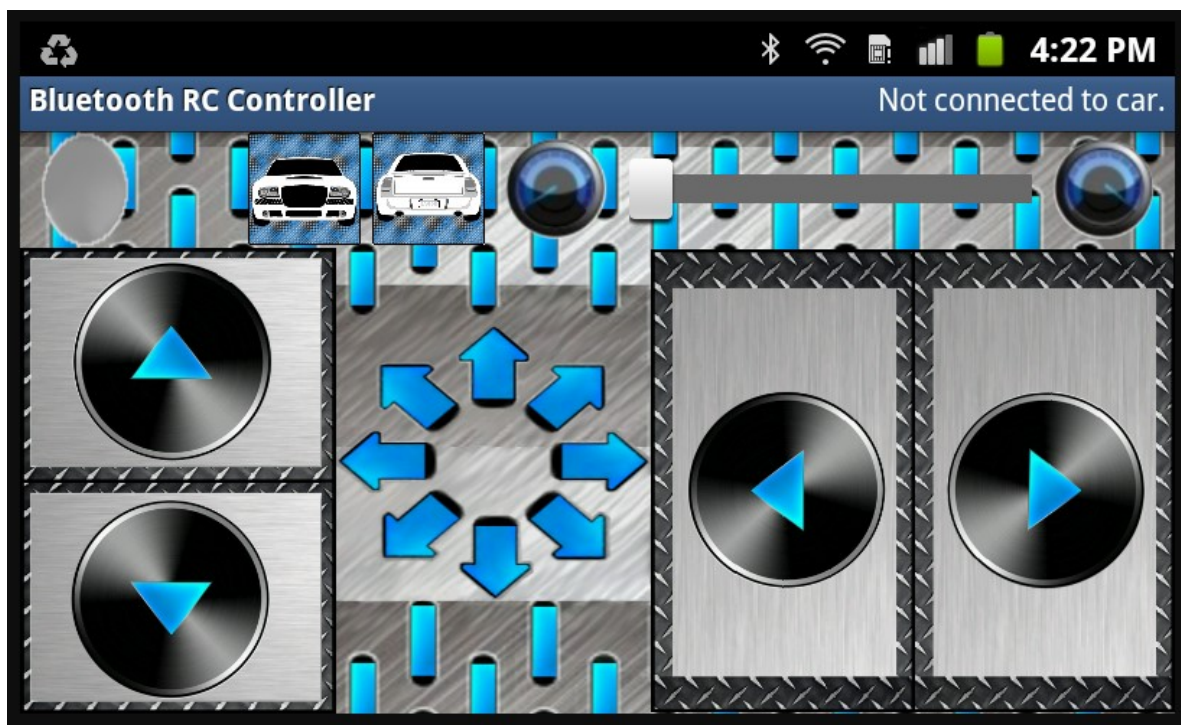


Рисунок 8 – Інтерфейс програми для Android пристрою  
Figure 8– Interface program for Android device

Друга частина алгоритму присвячена проведенню вимірювально-реєструючих дій в процес руху фізичної моделі, цей код є розробкою кафедри автомобілів НТУ. Здійснюється реєстрація параметрів руху фізичної моделі автомобіля, а саме прискорення за трьома координатними вісями, кут повороту керованих коліс та швидкість, всі дані записуються в цифровому вигляді на карту пам'яті. В подальшому отримані дані обробляються на комп'ютері, проводиться їх аналіз та побудова відповідних графічних залежностей.



## Висновки.

Розроблена самохідна масштабна фізична модель автомобіля, що відтворює легковий автомобіль категорії М1, з керованим колісним модулем та задньою ведучою віссю. Фізична модель обладнана вимірювальною, реєструючою та апаратурою дистанційного керування. Програмне забезпечення дозволяє реалізувати як ручне керування так і за заданим алгоритмом. Отримані результати зможуть дозволити вдосконалити не тільки математичну модель, а також експериментальну фізичну модель та перейти в подальшому до дослідження властивостей гібридних автопоїздів з активною причіпною ланкою.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дослідження керованості автомобіля на моделі з трьома ступенями свободи /М.В. Дячук, Д.І. Петренко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2008. – № 6–7. – С. 55–59. – рис. 4. – Бібліогр.: (3 назв.).
2. Сахно В.П., Костенко А.В. Вибір факторів при плануванні експерименту для дослідження курсової стійкості руху // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал. – 2006. – №3. – С. 137-140.
3. Імітаційна модель руху транспортних засобів при маневруванні /Л.С.Абрамова, С.В.Капінус // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". Выпуск 69. Серия: Технические науки и архитектура. – С. 221 – 228. – Режим доступа: <http://eprints.kname.edu.ua/1691/>
4. Бриджмен П. Анализ размерностей. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 2 –е изд., 148 с.
5. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. — 10-е изд., доп. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987 г. — 432 с.
6. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): Учебник для вузов по спец. «Кибернетика электр. систем». — 3-е изд., переработанное и доп. — М.: Высшая школа, 1984. — 439 с., ил.
7. Кирпичев М.В. Теория подобия. — Изд. АН СССР, 1953. — 94 с.
8. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. — М.: Высшая школа, 1976. — 479 с.
9. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике /Л.И.Седов// М.: Наука, 1967. – 428 с.
10. [Електронний ресурс]: Джерело. – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod32-arduino-uno-rev3>
11. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>
12. Programming and Calibration [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.adafruit.com/adx1345-digital-accelerometer/programming>
13. Бібліотека [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_ADXL345](https://github.com/adafruit/Adafruit_ADXL345)
14. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_Sensor](https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor)
15. DataSheet [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [https://arduino.ua/docs/BT0417C\\_datasheet.pdf](https://arduino.ua/docs/BT0417C_datasheet.pdf)
16. Джерело. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod936-bluetooth-hc-06>
17. Список АТ-команд. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [https://arduino.ua/docs/BT0417C\\_ATcommand.pdf](https://arduino.ua/docs/BT0417C_ATcommand.pdf)
18. Bluetooth-модуль HC-05. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://robocraft.ru/blog/electronics/587.html>
19. Джерело. [Електронний ресурс]. – Режим доступ: <https://arduino.ua/prod589-modyl-sd-card>
20. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://randomnerdtutorials.com/guide-to-sd-card-module-with-arduino/>
21. Bluetooth modules and Arduino code. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/bluetoothreccar/home/3BluetoothModulesAndArduinoCode>
22. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [https://play.google.com/store/apps/details?id=braulio.calle.bluetoothRCcontroller&feature=search\\_result](https://play.google.com/store/apps/details?id=braulio.calle.bluetoothRCcontroller&feature=search_result)

## REFERENCES

1. Investigation of car's handling on a model with three degrees of freedom / MV. Diachuk, D.I. Petrenko // Bulletin of the Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – Dnipropetrovsk: PSACEA, 2008. – № 6–7. – P. 55–59. – fig. 4. – ref.: (3 item.). [in Ukrainian].

2. Sakhno V.P, Kostenko A.V. Choice of factors when planning an experiment to study the exchange rate stability of the project management, system analysis and logistics. Scientific Journal. – 2006. – №3. – P. 137 – 140. [in Ukrainian].
3. Imitation model of vehicle movement under maneuvering / L.S Abramova, S.V Kapinus // Scientific and technical collection "Utilities of cities". Issue 69. Series: Technical Sciences and Architecture. – C. 221 – 228. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://eprints.kname.edu.ua/1691/>. [in Ukrainian].
4. Bridgeman P. Dimensional analysis. – Izhevsk: SIC "Regular and chaotic dynamics", 2001. 2 – e ed., 148 p.. [in Russian].
5. Sedov L.I. Methods of similarity and dimension in mechanics. – 10th ed., Ext. – M.: Science. Ch. ed. Phys. – Math. Lit., 1987 – 432 p. [in Russian].
6. Venikov V.A., Venikov G.V. The theory of similarity and modeling (applied to the problems of the power industry): A textbook for universities on spec. "Cybernetics electr. systems. " – 3rd ed., Revised and dop. – M.: Higher school, 1984. — 439 p., fig. [in Russian].
7. Kirpichev M.V. Similarity theory. – Ed. USSR Academy of Sciences, 1953. – 94 p. [in Russian].
8. Venikov V.A. The theory of similarity and modeling. – M.: Higher School, 1976. — 479 p. [in Russian].
9. Sadov L.I. Methods of similarity and dimension in mechanics / L.I. Sedov // M.: Science, 1967. – 428 p. [in Russian].
10. Library [Electronic resource]. – Access mode: <https://arduino.ua/prod32-arduino-uno-rev3> [in Ukrainian].
11. Library. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf> [in English].
12. Programming and Calibration [Electronic resource]. – Access mode: <https://learn.adafruit.com/adxl345-digital-accelerometer/programming> [in English].
13. Library. [Electronic resource]. – Access mode: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_ADXL345](https://github.com/adafruit/Adafruit_ADXL345) [in English].
14. Library. [Electronic resource]. – Access mode: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_Sensor](https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor) [in English].
15. DataSheet. [Electronic resource]. – Access mode: [https://arduino.ua/docs/BT0417C\\_datasheet.pdf](https://arduino.ua/docs/BT0417C_datasheet.pdf) [in English].
16. Library. [Electronic resource]. – Access mode: <https://arduino.ua/prod936-bluetooth-hc-06> [in English].
17. Lasting AT command. [Electronic resource]. – Access mode: [https://arduino.ua/docs/BT0417C\\_ATcommand.pdf](https://arduino.ua/docs/BT0417C_ATcommand.pdf) [in English].
18. Bluetooth module HC-05. [Electronic resource]. – Access mode: <http://robocraft.ru/blog/electronics/587.html> [in English].
19. Library. [Electronic resource]. – Access mode: <https://arduino.ua/prod589-modyl-sd-card> [in English].
20. Library. [Electronic resource]. – Access mode: <https://randomnerdtutorials.com/guide-to-sd-card-module-with-arduino/> [in English].
21. Bluetooth modules and Arduino code. [Electronic resource]. – Access mode: <https://sites.google.com/site/bluetoothrcar/home/3BluetoothModulesAndArduinoCode> [in English].
22. Library. [Electronic resource]. – Access mode: [https://play.google.com/store/apps/details?id=braulio.calle.bluetoothRCcontroller&feature=search\\_result](https://play.google.com/store/apps/details?id=braulio.calle.bluetoothRCcontroller&feature=search_result) [in English].

## РЕФЕРАТ

Тімков О.М. Розробка фізичної моделі автомобіля з дистанційним керуванням для експериментальних досліджень властивостей автомобілів / О.М. Тімков, Д.М. Ященко// Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Стаття присвячена розробці фізичної моделі автомобіля, оснащеному вимірювальною, реєструючою та апаратурою дистанційного керування, для експериментального дослідження властивостей автомобілів. Детально описана конструкція фізичної моделі та використаних електронних модулів, наведено посилання на прикладні бібліотеки та код першої частини програми з дистанційного керування.

Метою дослідження є розробка фізичної моделі автомобіля, оснащення вимірювальною, реєструючою та апаратурою дистанційного керування, для експериментального дослідження властивостей автомобілів.

Матеріали та методи дослідження: розробка і проектування (експериментальні дослідження властивостей автомобілів на фізичній моделі); дистанційне керування; колісний керований модуль.

Розроблена самохідна масштабна модель автомобіля, що відтворює легковий автомобіль категорії М1, з керованим колісним модулем та задньою ведучою віссю. Модель обладнана необхідною вимірювально-реєструючою та апаратурою дистанційного керування. Програмне забезпечення моделі дозволяє реалізувати як ручне керування та і за заданим алгоритмом.

В подальшому планується розробка математичної моделі руху легкового автомобіля та перевірка її адекватності на розробленій фізичній моделі. Отримані результати зможуть дозволити вдосконалити не тільки математичну модель, а також експериментальну фізичну модель та перейти в подальшому до дослідження властивостей гібридних автопоїздів з активною причіпною ланкою.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АВТОМОБІЛЬ, ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ, ЕКСПЕРИМЕНТ, ДОСЛІДЖЕННЯ, МОДУЛЬ, КАРТА ПАМ'ЯТІ, АКСЕЛЕРОМЕТР, ПРОГРАМА.

### ABSTRACT

Timkov O.M., Yashchenko D.M. Development of physical model vehicle with remotional control for experimental studies of vehicle properties. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article is devoted to the development of the physical model of the vehicle, the equipment of the measuring, recording and remote control equipment for the experimental study of the properties vehicles. The construction of the physical model and the used electronic modules is described in detail, references are given to the application libraries and the code of the first part of the program for remote control. In the future, it is planned to develop a mathematical model of the movement of a passenger vehicle and to check its adequacy in conducting experimental studies on maneuverability on a physical model.

The aim of the article is developed the physical model of the vehicle, equipped with measuring, recording and remote control equipment, for the experimental study of the properties of vehicle.

Materials and research methods: development and designing (experimental research of properties of vehicles on the physical model); remote control; wheeled controlled module.

The self-propelled large-scale model of the vehicle, reproducing a passenger car of the category M1, with a controlled wheelbase and a rear drive axle, has been developed. The model is equipped with the necessary measuring and recording equipment and remote control equipment. The software of the model allows you to implement both control manual and the given algorithm.

In the future, it is planned to develop a mathematical model of the vehicle motion and to check its adequacy on the developed physical model. The obtained results will allow to improve not only the mathematical model, but also the experimental physical model and proceed further to the study of the properties of hybrid road trains with an active trailer link.

**KEY WORDS:** VEHICLE, PHYSICAL MODEL, EXPERIMENT, STUDY, MODULE, MEMORY CARD, ACCELEROMETER, PROGRAM.

### РЕФЕРАТ

Тимков А.Н. Разработка физической модели автомобиля с дистанционным управлением для экспериментальных исследований свойств автомобиля/ А.Н. Тимков, Д.М. Яценко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрен вопрос разработки физической модели автомобиля который оборудован измерительной, регистрирующей и аппаратурой дистанционного управления, для экспериментальных исследований свойств автомобилей. Детально описана конструкция физической модели и использованных электронных модулей, приведены ссылки на прикладные библиотеки и программный код первой части программы дистанционного управления.

Целью исследования является разработка физической модели автомобиля оборудованного измерительной, регистрирующей и аппаратурой дистанционного управления для экспериментальных исследований свойств автомобилей.

Материалы и методы исследования: разработка и проектирование (экспериментальные исследования свойств автомобилей на физической модели); дистанционное управление; колесный управляемый модуль.

Разработана самоходная масштабная модель автомобиля которая имитирует легковой автомобиль категории М1 с управляемым колесным модулем. Модель оборудована необходимой измерительно-регистрирующей и аппаратурой дистанционного управления. Программное обеспечение физической модели позволяет реализовать не только ручное управление, но и по заданному алгоритму.

В дальнейшем планируется разработка математической модели движения легкового автомобиля и проверка ее адекватности на физической модели. Полученные результаты позволят усовершенствовать не только математическую модель, но также и экспериментальную физическую модель автомобиля и перейти в дальнейшем к исследованиям свойств гибридных автопоездов с активным прицепным звеном.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** АВТОМОБИЛЬ, ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ИССЛЕДОВАНИЯ, МОДУЛЬ, КАРТА ПАМЯТИ, АКСЕЛЕРОМЕТР, ПРОГРАММА.

**АВТОРИ:**

Тімков Олексій Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: alex\_127@ukr.net, тел. +380442804252, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 306, orcid.org/0000-0002-7925-7030.

Ященко Дмитро Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: y\_d2@ukr.net, тел. +380442804252, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 306, orcid.org/0000-0003-3674-0089.

**AUTHOR:**

Timkov O.M., PhD, National Transport University, associated professor of automobile, e-mail: alex\_127@ukr.net, tel. +380442804252, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeljanovicha-Pavlenka str. 1, of. 306, orcid.org/0000-0002-7925-7030.

Yashchenko D.M., PhD, National Transport University, associated professor of automobile, e-mail: y\_d2@ukr.net, tel. +380442804252, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeljanovicha-Pavlenka str. 1, of. 306, orcid.org/0000-0003-3674-0089.

**АВТОРЫ:**

Тимков Алексей Николаевич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры автомобилей, e-mail: alex\_127@ukr.net, тел. +380442804252, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляна-Павленко, 1, к. 306, orcid.org/0000-0002-7925-7030.

Ященко Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры автомобилей, e-mail: y\_d2@ukr.net, тел. +380442804252, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляна-Павленко, 1, к. 306, orcid.org/0000-0003-3674-0089.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Григоращенко О.В., кандидат технічних наук, спеціаліст з навчання, відділ сервісу ТОВ “Порше Україна”, Київ, Україна.

**REVIEWER:**

Sakhno V.P., Doctor of Engineering, Professor, Department, National Transport University, Head of the department automobile, Kyiv, Ukraine.

Grygorashenko O.V., Ph.D., Training specialist, Department of education and service “Porsche Ukraine” GmbH, Kyiv, Ukraine.