

## ЗАСТОСУВАННЯ ДАТЧИКА ДОПЛЕРА ЯК ВИМІРНИКА ШВИДКОСТІ ТРАКТОРА

Серіков Г.С.<sup>1</sup>, Серікова І.О.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Розглянутий принцип виміру швидкості на основі низькочастотного биття. Проведений аналіз можливостей виміру швидкості транспортного засобу за допомогою радара на ефекті Доплера. Показана можливість отримання значення швидкості за допомогою математичної обробки сигналу без залучення гармонійного аналізу. Проаналізовані можливі обмеження діапазону вимірюваних швидкостей, пов'язані з різними чинниками.*

***Ключові слова:** радар Доплера, биття, мікрохвильовий випромінювач, патч-антена, робастність.*

### Вступ

Нині для визначення швидкості тракторів виробництва «Харківський тракторний завод» застосовуються технічні рішення, принцип дії яких оснований на вимірі кількості обертів деталей трансмісії та коліс. Як датчик швидкості обертання використовується інкрементальний датчик, принцип дії якого оснований на підрахунку мінливої в часі величини.

Безконтактні магнітокеровані датчики швидкості, у яких відсутній фізичний контакт між ротором і статорними корпусними деталями, зараз є предметом підвищеного інтересу з боку їхніх розробників.

Конструкції такого роду дозволяють значно підвищити надійність пристрою за рахунок практично повного усунення механічного контакту, зменшення тертя й зношування, поняття яких практично скасовуються для статора. Проте зберігається й навіть підсилюється (у зв'язку зі збільшенням зазору між датчиком і ротором) проблема забезпечення надійності спрацьовування гарантованого перемикачання імпульсного виходу датчика в умовах негативного впливу осьових і радіальних вібрацій, механічних допусків. Висока надійність спрацьовування цифрової системи без пропусків імпульсів означає більш високу точність пристрою, але точність є комплексною характеристикою, що містить багато параметрів.

Нові системи безупинно формують потребу в більш точних надійних «інтелектуальних» сенсорних системах будь-якого типу, зокрема і в цифрових датчиках швидкості [1].

Особливо важливими є вимірювання швидкості в сільськогосподарській техніці, де від швидкості орання залежить кінцевий резуль-

тат. Сучасними є системи із застосуванням датчика Холла, що дозволяє вимірювати частоту обертів коліс. Але це є відносна швидкість. Річ у тому, що в процесі землеоброблення досить часто виникають явища фрезерування (пробуксування на оранці) [2]. У цьому випадку система вимірювання швидкості дає показання відносної швидкості, а для якісного землеоброблення вкрай необхідно мати показання абсолютного значення швидкості. Таку інформацію може надати GPS-спідометр або датчик на основі радара Доплера. GPS-спідометр працює зі слабкими сигналами із супутників, унаслідок чого дуже часто він не виконує своїх функцій (волога погода, лісиста місцевість, наявність високоевольтованих ЛЕП). Цих недоліків система на основі радара Доплера позбавлена, однак потребує складнішої математичної обробки.

### Аналіз публікацій

Спідометр на основі радара Доплера використовує як корисну інформацію сигнали биття між вихідною та вхідною частотами [3, 4, 5].

Частота оброблюваного сигналу биття пропорційна швидкості рухомих відносно радара об'єктів. Амплітуда складової биття залежить від потужності отриманого відзеркаленого сигналу, а також від кута  $\alpha$  між вектором на зустрічний курс та вектором руху сканованого об'єкта (рис. 1). Для набуття максимальної точності вимірів краще за все спрямувати вісь направленості на об'єкт вимірювань, тобто на протектор покришки трактора. Звісно, що швидкість переміщення покришки відносно рами буде збігатися зі швидкістю переміщення трактора. Для найбільшої точності пропонується використовувати

вати патч-антену з найбільшим кутом діаграми направленості. Звісно, що під час вимірів на датчик буде накладатися дуже багато перешкод від металічних деталей самого трактора та задньої поверхні антени. Отож кінцевий результат необхідно додатково обробляти за допомогою мікроконтролера. Швидкість рухомого об'єкта пропорційна довжині імпульсу корисного сигналу [6, 7]. Унаслідок математичної обробки з'являється набір кодів вимірної частоти, яка потім порівнюється з еталонною на штатному спідометрі.

### Мета і постановка завдання

Метою роботи є проведення аналізу принципу виміру швидкості на основі низькочастотного биття; визначення можливостей виміру швидкості транспортного засобу за допомогою радара на ефекті Доплера; отримання значення швидкості за допомогою математичної обробки сигналу без залучення гармонійного аналізу.

Необхідно проаналізувати можливі обмеження діапазону вимірюваних швидкостей, пов'язані з різними чинниками.

Відповідно до поставленої мети потрібно провести вибір та розрахунок системи обробки сигналів із датчика Доплера.

### Синтез системи вимірювання швидкості

Пропонується до використання така схема. Картина відносних переміщень та напрямку хвиль показана на рис. 1.

У запропонованій схемі як спідометр застосований спідометр на основі радара Доплера з датчиком CDM324 з патч-антенною, що має діаграму напрямку  $80^\circ$  по азимуту та  $32^\circ$  по висоті з робочою частотою 24,125 ГГц.

Для досягнення найкращого результату вісь діаграми спрямованості патч-антени датчика [8, 9] направлена на основний об'єкт виміру, тобто на протектор покришки колеса.

Вірогідно, що швидкість переміщення покришки щодо датчика на рамі збігається зі швидкістю переміщення трактора.

Отримані в ході первісних експериментів результати показали, що за умови такої діаграми спрямованості на прийомну антену датчика попадають множинні сигнали, відбиті від різних об'єктів (зокрема й із задньої напівсфери антени) і вібруючих елементів, що переміщуються з різною частотою та напрямком (рис. 1).

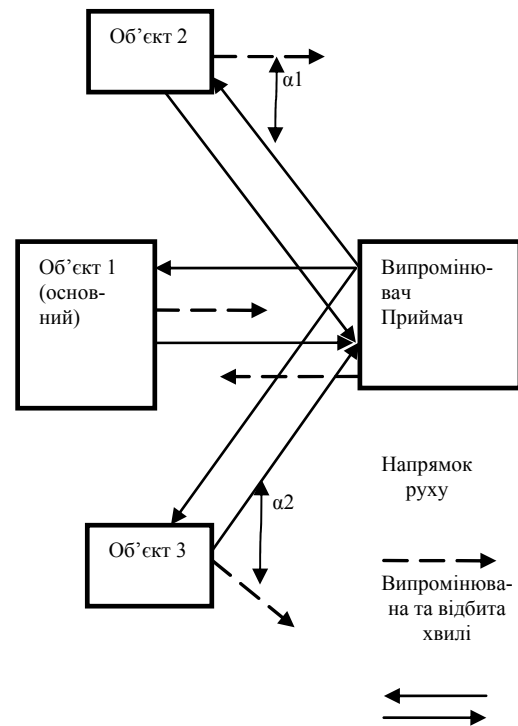


Рис. 1. Картина відносних переміщень та напрямку хвиль

На рис. 2 показана патч-антена датчика Доплера (а), конструкція приймально-передавального тракту CDM324 (б) та його діаграма спрямованості (с).

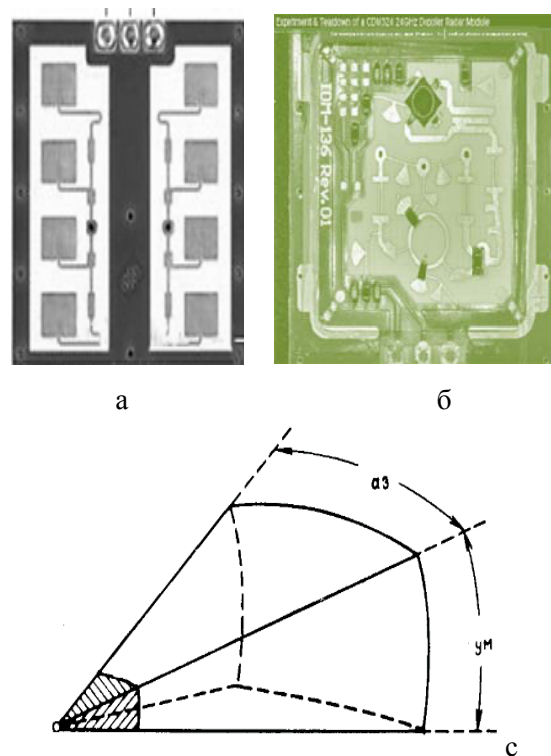


Рис. 2. Патч-антена датчика Доплера (а), конструкція приймально-передавального тракту CDM324 (б) і його діаграма спрямованості (с)

Результуючий сигнал, що попадає на попередній підсилювач, складається із суми амплітуд биття, утворених із випромінюваним імпульсом (рис. 3).



Рис. 3. Результуючий сигнал, що попадає на попередній підсилювач

Після попередньої обробки підсилювачем-формувавцем сигнал здобуває вигляд меандра із двома рівнями (рис. 4).

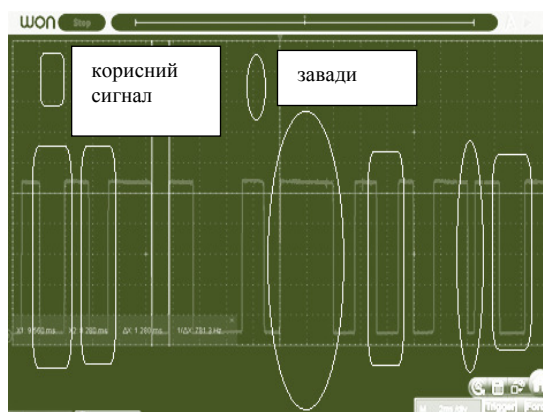


Рис. 4. Сигнал після попередньої обробки

Остаточна обробка сигналу для виділення корисної складової відбувається за допомогою математичного апарата в мікроконтролері.

Швидкість об'єкта, що рухається, пропорційна довжині імпульсу корисного сигналу (рис. 4).

Унаслідок математичної обробки утворюється набір кодів обмірюваної частоти, яка дорівнює еталонній на штатному спідометрі.

Для зменшення впливу бічних відбитих хвиль (бічних перешкод) була застосована рупорна антена, що звужує основний промінь діаграми спрямованості, що й відтинає сигнали задньої півсфери.

У процесі випробувань був отриманий набір значень для постійної швидкості із кроком 2,5 км/год (рис. 5).

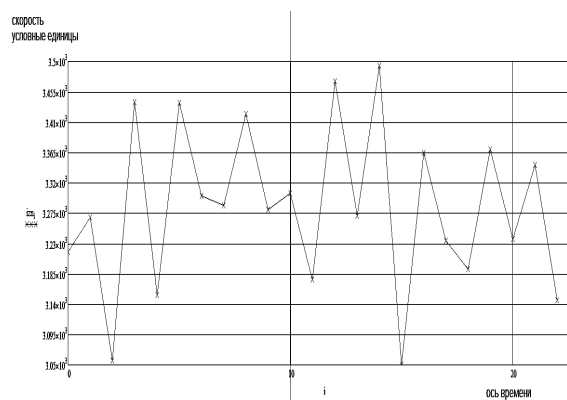


Рис. 5. Діапазон розкидань показань для постійної швидкості 2,5 км/год

За набором отриманих значень до кожної дискретної швидкості визначений діапазон розкидань показань (рис. 6 та 7).

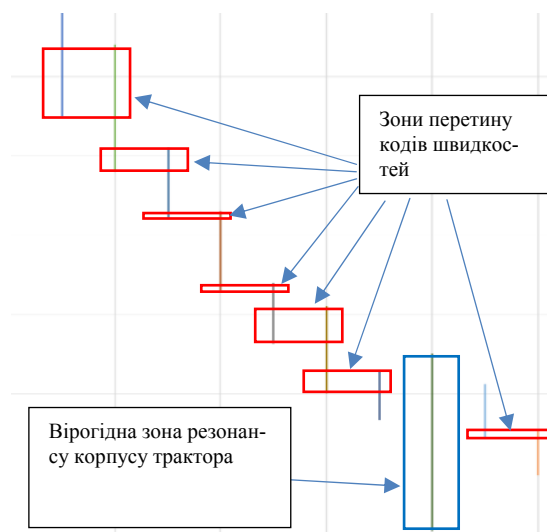


Рис. 6. Зони перетинання кодів, отриманих за умови різних швидкостей (збільшено)

Аналіз отриманих результатів показав, що успішний вимір швидкості пересування трактора за допомогою датчика CDM324 можливий тільки разом із рупорною антеною до швидкості 12,5 км/год. Подальше збільшення швидкості призводить до перетинання діапазонів і невизначеності. Розв'язати проблему з перетинанням діапазонів можна, збільшивши крок спідометра з 2,5 км/год до 5 км/год у разі швидкості, вищій ніж 12,5 км/год. Необхідно відзначити, що ця пропозиція істотно погіршує експлуатаційні якості спідометра.

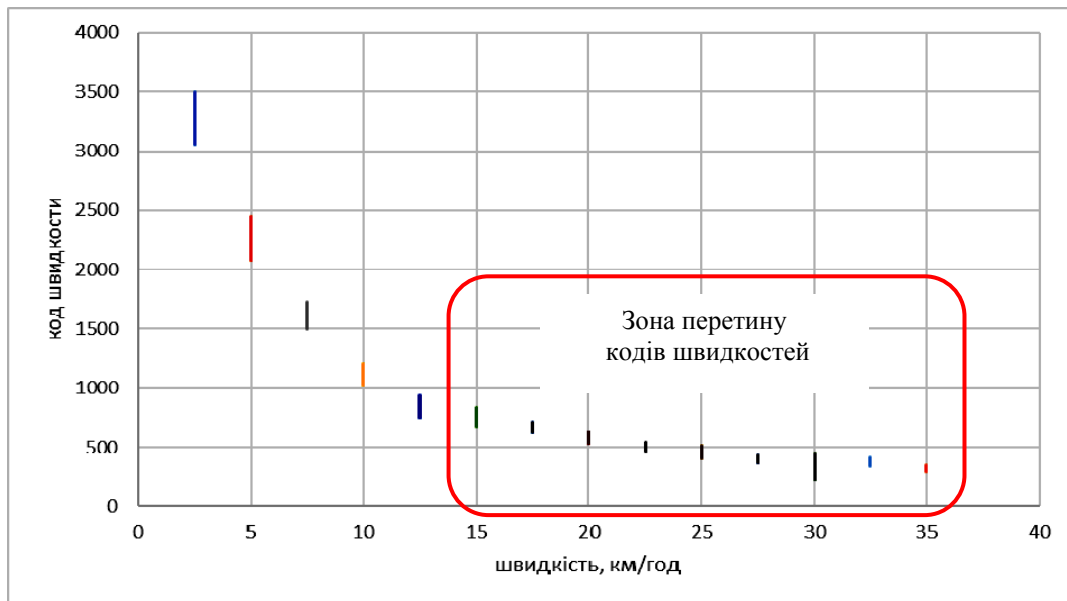


Рис. 7. Діапазон розкидань коду швидкості для швидкостей із дискретністю 2,5 км/год

### Висновки

Проведений аналіз поширення мікрохвиль з позиції їхнього застосування для визначення абсолютної швидкості транспорту та тракторів.

Представлена методика обробки інформації з датчика Доплера за допомогою математичного апарату без використання гармонічного аналізу. Апаратна реалізація запропонованої методики дозволяє застосувати спрощені обчислювальні засоби. Проведений комплексний аналіз отриманих із датчика Доплера результатів.

У процесі аналізу визначений діапазон швидкостей зі стійкою роботою системи вимірювання.

На підставі отриманих даних зроблений висновок, що застосування як концентратора рупорної антени суттєво позбавляє від бічних завад та розширює діапазон можливого вимірювання швидкостей.

Показано, що рівень дискретизації суттєво впливає на верхню границю вимірювальної швидкості. Так у разі дискретизації в 2,5 км/год діапазон становить від 0 до 12,5 км/ч, що достатньо для виконання сільгоспробіт та землеоброблення.

Підвищення верхньої границі вимірювальної швидкості можливе в разі використання гармонійного аналізу та більш складної системи фокусування та фільтрації мікрохвильових сигналів.

### Література

1. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые пер-

спективы. Ч. 14. Итоговый сравнительный анализ. Выводы и обновление. *Компоненты и технологии*. 2006. № 7.

2. Шило И. Н., Толочко Н. К., Нукешев С. О., Романюк Н. Н., Есхожин К. Д. Умная сельскохозяйственная техника: учебное пособие. Астана: КазАТУ им. С. Сейфуллина, 2018. 174 с.
3. Coastal Doppler radar upgrade. URL: <https://www.agric.wa.gov.au/climate-weather/coastal-doppler-radar-upgrade>.
4. URL: <http://www.dickey-john.com/product/radar-ii/>
5. URL: <https://ph.parker.com/us/en/tgss-true-ground-speed-sensors>.
6. Какова суть эффекта Доплера. URL: <https://thequestion.ru/questions/48507/kakova-sut-effekta-doplera>.
7. Эффект Доплера. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект\\_Доплера](https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_Доплера).
8. Эффект Доплера. URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e054>.
9. Эффект Доплера: формула, суть, теория и история. URL: <https://zaochnik.ru/blog/effekt-doplera-dlya-chajnikov-sut-yavleniya-primenenie/>

### References

1. Sysoeva S. Automotive position sensors. Modern technologies and new perspectives. Part 14. The final comparative analysis. Conclusions and updating. *Components and technology*. 2006. No. 7.
2. Shilo I. N., Tolochko N. K., Nukeshev S. O., Roman-nyuk N. N., Eskhodin K. D. Clever agricultural technology: a training manual. Astana, Publishing house KazATU im. S.Seifullin, 2018, 174 p.
3. Coastal Doppler radar upgrade. URL: <https://www.agric.wa.gov.au/climate-weather/coastal-doppler-radar-upgrade>.

4. URL: <http://www.dickey-john.com/product/radar-ii/>
5. URL: <https://ph.parker.com/us/en/tgss-true-ground-speed-sensors>.
6. What is the essence of the Doppler effect. URL: <https://thequestion.ru/questions/48507/kakova-sut-effekta-doplera>.
7. Doppler Effect. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Doppler\\_Effect](https://ru.wikipedia.org/wiki/Doppler_Effect).
8. Doppler effect. URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e054>.
9. Doppler effect: formula, essence, theory and history. URL: <https://zaochnik.ru/blog/effekt-doplera-dlya-chajnikov-sut-yavleniya-primeneniya/>

**Серіков Георгій Сергійович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380679478687, e-mail: [georgy301212@gmail.com](mailto:georgy301212@gmail.com)

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

**Серікова Ірина Олексіївна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380671085237, e-mail: [irinaserikova\\_ae\\_khadi@ukr.net](mailto:irinaserikova_ae_khadi@ukr.net)

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

#### Application of the Doppler sensor as a tractor speed meter

**Abstract. Problem.** *In the process of tillage, the end result of plowing depends on the precision of measuring the speed of agricultural machinery. There are modern systems with the use of a Hall sensor, which allows you to measure the speed of the wheels. But it is a relative speed. The fact is that quite often the phenomenon of slipping in the plow occurs. In this case, the measurement system gives the indication of the relative speed, and for high-quality tillage it is imperative to have an indication of the absolute value of the speed. Goal.* *The purpose of the work is to analyze the principle of measuring speed based on low-frequency beating; determining the speed measurement capabilities of the vehicle using the Doppler radar; obtaining speed values using mathematical signal processing without harmonic analysis. The possible limitations of the range of measurement velocities associated with different factors are analyzed. In accordance with this goal, the selection and calculation of the signal processing system from the Doppler sensor should be carried out. Methodology.* *The methods of theoretical basic electrical engineering have been developed in the production and calculation of circuits. Also, classical methods of statistics of signals from radio Dopplers are used. Results.* *The technique of processing information from the Doppler sensor using a mathematical apparatus without using harmonic analysis is presented. The hardware implementation of the proposed method allows the use of simplified computing tools. Originality.* *Complex analysis of the data obtained from the Doppler sensor is carried out. During the analy-*

*sis, the range of velocities with stable operation of the measurement system was determined. Based on the data obtained, it is concluded that the use of a horn antenna as a concentrator substantially eliminates lateral interference and extends the range of possible velocity measurements. It is shown that the level of sampling significantly affects the upper limit of the measurement speed. Practical value.* *It is shown that at a sampling rate of 2.5 km/h the range is from 0 to 12.5 km/h, which is sufficient for agricultural production and tillage. Increasing the upper limit of the measurement speed is possible in the case of using harmonic analysis and more sophisticated system of focusing and filtering microwave signals.*

**Key words:** *Doppler radar, beat frequency measurement, absolute speed, microwave radiation, patch antenna, horn antenna, robustness of the measuring system*

**Serikov Georgy Sergeevich**<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +380679478687, e-mail: [georgy301212@gmail.com](mailto:georgy301212@gmail.com).

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Serikova Irina Alekseevna**<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +3806 71085237, e-mail: [irinaserikova\\_ae\\_khadi@ukr.net](mailto:irinaserikova_ae_khadi@ukr.net).

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

#### Применение датчика Доплера в качестве измерителя скорости трактора

**Аннотация.** *Рассмотрен принцип измерения скорости на основе низкочастотного битья. Проведен анализ возможностей измерения скорости транспортного средства с помощью радара на основе эффекта Доплера. Показана возможность получения значения скорости с помощью математической обработки сигнала без привлечения гармонического анализа. Проанализированы возможные ограничения диапазона измеренных скоростей, связанные с разными факторами.*

**Ключевые слова:** *радар Доплера, битье, микроволновой излучатель, патч-антенна, робастность.*

**Серіков Георгій Сергеевич**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380679478687, e-mail: [georgy301212@gmail.com](mailto:georgy301212@gmail.com)

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, Харьков, 61002, ул. Ярослава Мудрого 25.

**Серікова Ірина Алексеевна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380671085237, e-mail: [irinaserikova\\_ae\\_khadi@ukr.net](mailto:irinaserikova_ae_khadi@ukr.net)

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, Харьков, 61002, ул. Ярослава Мудрого 25.