

УДК 621.396.96

Ю.І. Бударецький

*Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів*

## ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ВИМІРЮВАЧА ПАРАМЕТРІВ РУХУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ МІСЦЕВИЗНАЧЕННЯ НАЗЕМНИХ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

*У статті розглянуто особливості побудови підсистеми обчислення пройденого шляху (ПОШ) і радіолокаційного вимірювача параметрів руху (РВПР) як її складової частини. Наведені результати експериментальних досліджень РВПР.*

**Ключові слова:** супутникова радіонавігаційна система, інерційна навігація, радіолокаційний вимірювач параметрів руху.

### Вступ

**Постановка наукової проблеми.** Сучасні Збройні конфлікти характеризуються високою швидкістю маневрування військами та вогнем. При проведенні антитерористичних операцій окремі взводи і окремі артилерійські системи (АС) досить часто використовуються в автономному режимі для виконання завдань вогневого ураження, в тому числі і для стрільби із закритих вогневих позицій. В цьому випадку на ефективність ураження цілей суттєво впливають похибки визначення даних для стрільби на поразку кожної окремої АС. При стрільбі на мінімальні і середні дальності суттєву вагу в загальній системі похибок мають похибки топогеодезичної підготовки [1]. Тому передові у військовому відношенні країни при створенні і модернізації АС з метою підвищення точності стрільби оснащують кожну з них засобами навігації і топогеодезичної прив'язки [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасній практиці проведення бойових операцій наряду з застосуванням супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) не менш важливу роль виконують засоби автономної навігації. Досягти місця призначення в мінімальні терміни, спланувати шлях і дії мобільних підрозділів Сухопутних військ неможливо без оснащення цих підрозділів і окремих бойових машин засобами автономної навігації і топогеодезичної прив'язки.

Пояснюється це тим, що сьогодні у світі існує лише одна повнофункціональна СРНС GPS–Navstar (США). Хоча складна політична обстановка у світі і стала каталізатором прискореного розвитку альтернативних супутникових систем: створення Galileo (Європейський Союз) і масштабне розгортання ГЛОНАСС (Росія), потенційна ефективність використання навігаторів СРНС не завжди досяжна. Тому у світі зростає попит на пристрої і системи автономної навігації.

В автономних системах навігації одним із методів визначення місцеположення наземних рухомих об'єктів (НРО) є метод навігаційного обчислення шляху або метод інерційної навігації (AVL). Цей метод припускає оснащення НРО датчиками напряму (курсу) і пройденого шляху, за показниками яких визначається місцезнаходження об'єкта щодо фіксованих реперів, якими можуть бути певні пункти топоприв'язки на місцевості, напряму на об'єкти і т.п. Очевидно, що найближчим часом для систем визначення місцезнаходження НРО прилади інерційної навігації знайдуть найбільше застосування не як автономні пристрої, а як доповнення до пристроїв СРНС. Інтеграція приймачів СРНС і датчиків напряму і пройденого шляху дозволить збільшити точність, усунути «мертві зони», втрату початкових ділянок маршруту.

Існують різноманітні методи визначення напрямку руху і пройденого шляху. Розглянемо ті особливості їх практичної реалізації, які впливають на точність визначення місцеположення НРО.

Найпростішим і найбільш дешевим з методів визначення напрямку руху НРО є використання магнітного компасу. До основних недоліків такого приладу відносяться невисока точність, необхідність введення поправки на магнітне схилення і, найголовніше, необхідність врахування магнітних полів самого НРО і інших факторів спотворення магнітного поля Землі. Використання більш точних геомагнітних приладів на основі магнітних датчиків (ферозондів) і потужних бортових комп'ютерів, що забезпечують врахування поправки дирекційного кута, дозволяє позбавитися частини вказаних недоліків. Проте головний недолік подібних приладів, пов'язаний із спотвореннями магнітного поля, не усувається. Тому у ряді систем визначення місцезнаходження НРО магнітні датчики напряму, які, як правило, являють собою трикомпонентні вимірники магнітного поля Землі, доповнюються іншими приладами, що дозволяють компенсувати спотворення

магнітного поля, які виникають через різні чинники. Як такі прилади найчастіше використовуються датчики прискорення – акселерометри (наприклад, мікросхеми ADXL150, ADXL250, ADXL202 фірми Analog Devices [3]).

Останнім часом в автономних системах розповсюджується використання лазерних гіроскопів і компенсаційних акселерометрів, що значно підвищує статус автономних систем в інтегрованій системі навігації [2].

В порівнянні з приймачами СРНС прилади інерційної навігації не схильні до дії радіоперешкод. Вони починають працювати одразу після увімкнення (не потрібні 1-2 хв. для завантаження інформації з супутника, як в СРНС), зона їх дії практично не обмежена (не потрібна пряма видимість декількох супутників), у них відбувається визначення курсу і відстані до орієнтирів, вимірювання дирекційного кута з точністю, достатньою для практичних застосувань [2].

Для оцінки місцезнаходження НРО крім визначення напрямку руху не менш важливою задачею є вимірювання пройденого шляху. У більшості систем місцезнаходження транспортних засобів навігаційний комп'ютер підключається до спідометра автомобіля. Сучасні електронні спідометри можуть видавати так звані колісні імпульси через кожні 20 см пробігу, що забезпечує високу точність вимірювання пройденого шляху.

Сьогодні опрацьовуються й інші способи вимірювання відстаней, такі як нанесення оптичних стрічок на шини і розміщення магнітних стрічок на колесах автомобіля. Вони можуть використовуватися в тих випадках, коли підключення до спідометра не зовсім зручне з погляду компоновки і розміщення апаратури. Але всі ці методи мають низьку точність за рахунок проковзування ведучих коліс. Тому найбільш перспективним методом визначення пройденого шляху є використання безконтактних доплерівських вимірювачів і їх комплексування з одометричними пристроями та СРНС [2].

**Мета статті.** Проаналізувати роботу безконтактних доплерівських вимірювачів і на підставі теоретичних і експериментальних досліджень надати пропозиції щодо доцільності їх використання для навігації і топогеодезичної прив'язки НРО.

## Виклад основного матеріалу

Функціонально підсистема визначення пройденого шляху (ПВШ), що пропонується, складається з наступних основних складових частин: цифрового магнітного компасу (ЦМК); радіолокаційного вимірювача параметрів руху (РВПР), складовими частинами якого є приймально-передаючий модуль (ППМ), блок попередньої цифрової обробки сигналів (БПЦОС) і портативний комп'ютер (ПК); циф-

рового одометра (ЦО), до складу якого входять контролер одометра (КО) та давачі одометра (ДО); інерційної навігаційної підсистеми до складу якої входить контролер (КІ), трьохкоординатний акселерометр (А) і гіроскоп (Г); блока джерел вторинного електроживлення (БЖ).

Структурна схема основного складу ПВШ наведена на рис. 1.

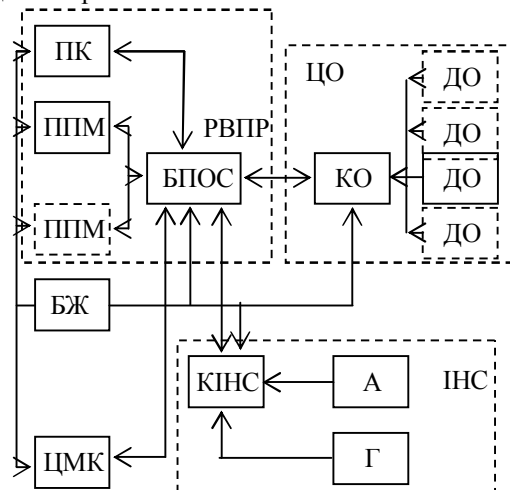


Рис. 1. Структурна схема ПВШ

Крім того, до комплекту поставки ПВШ входять засоби кріплення частин на корпусі НРО і кабелі з'єднання та підключення.

В залежності від завдань і типу НРО до БПЦОС можуть підключатись додаткові датчики:

- ППМ, що встановлюється на протилежному борті ДТЗ,
- додаткові ДО, що встановлюються на окремих колесах, та ін.

Як приклад реалізації розглянемо ПВШ, що розробляється філією ТОВ «НВП «Ефір-С» у м. Львові. ПВШ призначена для роботи в умовах ударних навантажень, вібрацій і широкого діапазону температур і може бути використана для встановлення на колісних і гусеничних транспортних засобах, а також для вирішення інших прикладних задач, що вимагають високоточного вимірювання параметрів в умовах руху як по автошляхах із твердим покриттям, так і по бездоріжжю.

Для забезпечення роботи системи за призначенням її основні складові виконують наступні функції.

ЦМК визначає кут напрямку руху НРО.

ЦО вимірює пройдений шлях. ІНС визначає кут напрямку руху (за допомогою Г), так і пройдений шлях (за рахунок подвійного інтегрування показників А).

РВПР визначає пройдений шлях, швидкість і прискорення (сповільнення руху), а також (при наявності додаткового ППМ) і напрямок руху. Розглянемо особливості його реалізації.

Найбільш оригінальною частиною РВПР є ППМ, оптимізація побудови якого значно впливає як на економічні, так і на експлуатаційні характеристики РВПР і ПВШ в цілому.

ППМ здійснює формування і випромінювання зондуючого сигналу, прийом відбитого від полотна дороги сигналу з доплерівським зміщенням частоти, виділення і підсилення сигналу доплерівської частоти і має наступні особливості побудови.

Структурна схема ППМ наведена на рис. 2, згідно з якою блок складається з передавального, приймального й антенного трактів.

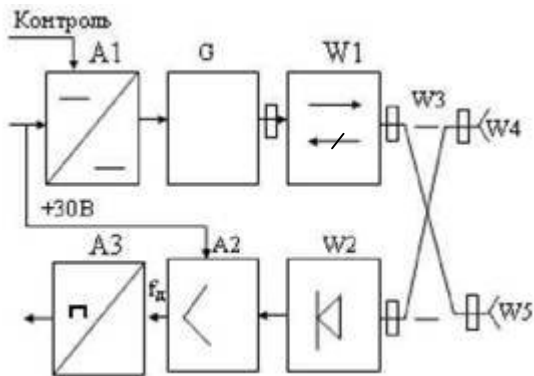


Рис. 2. Структурна схема ППМ

До складу передавального тракту входять:

- стабілізатор струму А1;
- генератор на лавино-прольотному діоді G;
- вентиль W1.

До складу приймального тракту входять:

- змішувальна камера W2;
- підсилювач доплерівської частоти А2;
- отримувач імпульсів А3.

До складу антенного тракту входять:

- циліндричний міст W3;
- рупорні антени W4, W5.

Конструктивно ППМ змонтований в оригінальному литому корпусі з габаритами 187×164×70 мм (рис. 3). Маса блока не перевищує 2,5 кг [5].

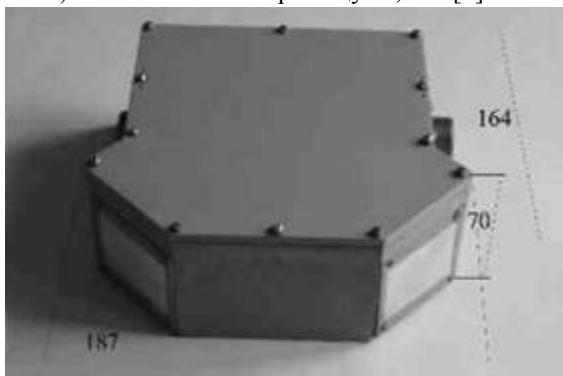


Рис. 3. Корпус ППМ

Основною конструктивною особливістю корпусу є те, що він забезпечує розташування вісей діаграм спрямованості антен (ДСА) W4, W5 під кутом

45° до полотна дороги вперед-назад відносно напрямку руху (рис. 5).

У верхній частині корпусу (рис. 4) розміщені низькочастотні складові ППМ: стабілізатор струму А1 і підсилювач доплерівської частоти.



Рис. 4. Верхня частина корпусу ППМ

У нижній частині корпусу ППМ розташовані антенний і передавальний тракти та НВЧ частина приймального тракту (рис. 5).

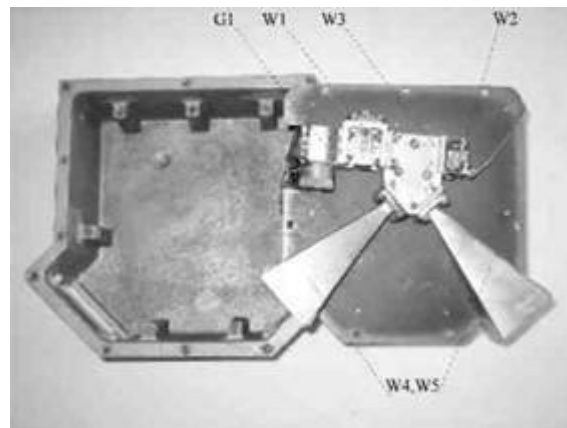


Рис. 5. Нижня частина корпусу ППМ

Іншою конструктивною особливістю побудови ППМ є те, що хвилеводні вузли передавального тракту G1, W1, приймального тракту W2 та антенного тракту W3, W4, W5 жорстко з'єднані між собою без перехідних хвилеводів, що дозволяє оптимально мінімізувати габарити блок а в цілому і забезпечити його роботу в умовах вібрацій і ударних навантажень (рис. 5).

Стационарне встановлення ППМ на НРО забезпечується за допомогою спеціальних кронштейнів. Для оперативного кріплення ППМ на НРО розроблено спеціальну магнітну платформу (рис. 6).

Кріплення чотирьох магнітних фрагментів на платформі виконано з можливістю їх вільного повороту навколо поздовжніх осей. Це дозволяє оперативно адаптувати платформу до поверхонь різної кривизни і встановлювати ППМ на будь-яких НРО з елементами конструкції зі сталевих або інших магнітних матеріалів (рис. 7, б).



Рис. 6. Магнітна платформа

Обчислювальною основою РВПР і інтегруючою основою ПВШ в цілому є БПЦОС, який здійснює попередню обробку доплерівських сигналів, що поступають із ППМ і їх фільтрацію, а також інтегровану обробку сигналів ЦМК, ЦО і ІНС.

Особливістю реалізації БПЦОС є використання цифрових методів обробки і фільтрації імпульсних сигналів, що дозволяє уніфікувати обробку сигналів, які поступають від різномісних датчиків. Обмін інформацією БПЦОС з іншими частинами ПВШ відбувається за допомогою двонаправлених інтерфейсів RS-232 або USB. Прийнятий метод вимірювань дозволяє органічно поєднати радіолокаційний і одометричний вимірювачі параметрів руху в межах уніфікованого вимірювача пройденого шляху, часу, швидкості та прискорення руху. Програмне забезпечення (ПЗ) РВПР здійснює калібрування, початкову установку і функціональний контроль ПВШ, керує режимами її роботи, забезпечує накопичення й обробку даних, відображення вихідної інформації на графічному індикаторі.

Вказані особливості побудови забезпечують успішне використання РВПР у ПВШ із використанням давачів, що побудовані на різних фізичних принципах. Конструктивно складові частини експериментального зразка РВПР розміщено в портативному корпусі типу «кейс-дипломат» (рис. 7, а). При чому БПЦОС разом із БЖ розміщені в нижній частині корпусу типу «кейс-дипломат», у верхній частині якого розміщено ПК.

ПК проводить реєстрацію одержаної інформації від РВПР та інших складових частин ПОШ, її обробку і відображення результатів у реальному масштабі часу як у табличному, так і в графічному вигляді в усіх режимах руху НРО. ПЗ ПК забезпечує комплексну обробку сигналів від різномісних датчиків. БЖ забезпечує формування всіх необхідних напруг живлення ППМ, БВІ, ЦМК, ЦО і ІНС від бортової мережі об'єкта встановлення з напругою як 12 В, так і 24 (27)В.

Представлений на рис. 7 РВПР призначений для роботи в складі комплексованих систем навігації і топогеодезичної прив'язки НРО та автономного використання при проведенні шляхових випробувань НРО, а саме:



а



б

Рис. 7. Радіолокаційний вимірювач параметрів руху: а – склад, б – варіанти встановлення на НРО

- гальмівних;
- швидкісних;
- експлуатаційних;
- паливо-економічних.

РВПР уявляє собою доплерівський радіолокатор міліметрового діапазону, який забезпечує прецизійне вимірювання шляху, що пройдений НРО, часу, швидкості і прискорення його руху в діапазоні швидкостей від 0,1 до 250 км/год.

Експериментальні випробування РВПР проводились як автономно, так і сумісно з приймачами СРНС. За результатами автономних випробувань на еталонній ділянці шляху отримано сертифікат Державної метрологічної атестації, який засвідчує, що РВПР має точність оцінки пройденого шляху з відносною середньоквадратичною похибкою не більше 0,1%.

Крім того, РВПР має наступні характеристики.

Відносні середньоквадратичні похибки вимірювання не перевищують:

- пройденого шляху – 0,1%;
- часу руху - 0,01%;
- швидкості і прискорення руху - 0,1%.

Інтерфейс обміну інформацією між БПЦОС і ПК - RS-232 або USB.

Дискретність реєстрації інформації визначається оператором ПК і складає 10 або 1 Гц.

При встановленні РВПР на НРО повинні виконуватись наступні вимоги:

- ППМ встановлюється на корпусі НРО на висоті від 0,5 до 2 м над поверхнею дороги;
- БПЦОС і ПК розташовуються в салоні НРО відповідно до зручності експлуатації та обслуговування.

Щодо стійкості до впливу зовнішніх факторів РВПР забезпечує роботу в наступних умовах зовнішнього середовища:

- робоча температура: від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$   
 - гранична (неробоча) температура: від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$   
 - вібрація: робоча 5g в діапазоні від 10 до 200 Гц

Електроживлення від бортової мережі постійного струму 12 або 24 (27) В.

Потужність, яка споживається не перевищує 25 Вт

Особливістю випробувань РВПР при його встановленні на НРО військового призначення (рис. 7, б) є те, що при русі таких НРО по пересіченій місцевості (на відміну від випадку коли НРО рухається по дорогах з твердим покриттям) принципово неможливо визначити еталонну ділянку для визначення точності оцінки пройденого шляху. Тому виникає необхідність в проведенні сумісних випробувань з заздалегідь сертифікованим обладнанням. В якості такого обладнання були обрані приймачі СРНС виробництва Державного підприємства «Оризон Навігація», що пройшли державну метрологічну атестацію і прийняті на озброєння Сухопутних військ Збройних Сил України. Оцінка точності проводилась за показниками швидкості руху НРО.

За результатами сумісних випробувань при русі по пересіченій місцевості отримано достатньо високе співпадіння оцінок швидкості руху НРО, що отримані від приймача СРНС і РВПР (рис. 8).

### Висновки

Проведені дослідження експериментального зразка РВПР показали достатньо високі показники точності, заводозахисності і електромагнітної сумісності роботи. Комплекс може бути використано при розробці комплексної системи навігації і топогеодезичної прив'язки об'єктів ракетних військ і артилерії та бронетехніки Сухопутних військ.

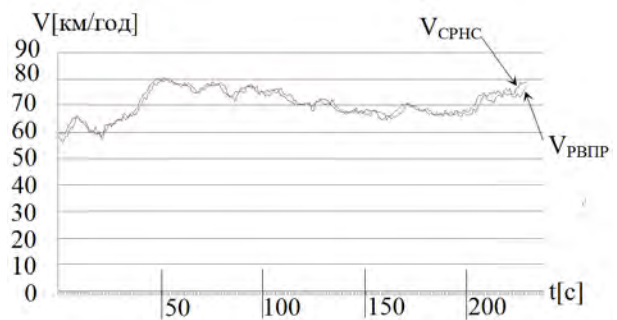


Рис. 8. Експериментальні показники швидкості НРО від приймача СРНС і РВПР

### Перспективи подальших розробок

В рамках подальших досліджень планується вдосконалення алгоритмів і програм сумісної роботи РВПР з приймачами СРНС, ЦМК, одометричними та з мікромеханічними інерційними датчиками.

### Список літератури

1. Правила стрільби і управління вогнем наземної артилерії. Група, дивізіон, батарея, взвод, гармата. – К., 2008. – 304 с.
2. Петров Н.Н. Системы и комплексы технических средств местоопределения подвижных объектов / Н.Н. Петров // Специальная техника. – 1998. – № 3.
3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.kit-e.ru/articles/sensor/2005\\_6\\_50.php](http://www.kit-e.ru/articles/sensor/2005_6_50.php).
4. Крайник Л.В. Автоматизованний вимірювальний комплекс для дослідження паливно-швидкісних характеристик АТЗ на різних типах доріг / Л.В. Крайник, Я.Ф. Митник, М.Г. Грубель, Ю.І. Бударецький // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Вып. 38. – С. 318-320.
5. Бударецький Ю.І. Особливості конструкції ППМ автоматизованого контрольно-випробувального комплексу ДТЗ / Ю.І. Бударецький, М.О. Наумець, М.Г. Грубель // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2008. – №2-3. – С. 4-12.

Надійшла до редколегії 11.05.2015

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук співр. М.Ю. Яковлев, Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

### ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ПОВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.И. Бударецкий

В статье рассмотрены особенности реализации подсистемы счисления пройденного пути (ПСЦП) и радиолокационного измерителя параметров движения (РИПД) как ее составной части. Наведены экспериментальные исследования РИПД.

**Ключевые слова:** спутниковая радионавигационная система, инерционная навигация, радиолокационный измеритель параметров движения.

### IMPLEMENTATION PECULIARITIES OF THE RADAR METER OF MOTION PARAMETERS FOR AN AUTOMATED DETECTION SYSTEMS OF THE GROUND MOVING OBJECTS

Y.I. Budaretskiy

The article deals with the implementation peculiarities of calculation's subsystem for the traversed path, and radar meter of motion parameters (RMMP) as its integral part. The results of experimental investigation of RMMP are given.

**Keywords:** satellite radio navigation system, inertial navigation, radar meter of motion parameters.