

УДК 621.396.98 : 681.327

Є.В. Карманний, В.О. Тютюнник, А.М. Катунін, К.В. Садовий

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

## СХЕМОТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ САМОХІДНИХ УСТАНОВОК

*Проведений аналіз помилок роботи танкової навігаційної апаратури на точність визначення координат самохідних установок. Запропонована функціональна схема пристрою комплексування апаратури самохідних установок та користувача супутникових радіонавігаційних систем.*

*визначення координат, самохідні установки*

### Вступ

**Постановка задачі та аналіз публікацій.** Досвід війн і збройних конфліктів, які відбулись після другої половини двадцятого століття показує, що для успішного вирішення бойових завдань, необхідно, щоб наземні рухомі об'єкти були в потрібному місці за будь-якої погоди, в будь-який час доби. У зв'язку з цим росте роль навігаційних систем, що забезпечують визначення місцеположення наземних рухомих об'єктів (самохідних установок, машин, танків, тощо) на земній поверхні.

Звичайні засоби орієнтування на місцевості у складних умовах (ніч, туман, хуртовина, або піскова буря, лісна і степна місцевості, слабо розвинена дорожня мережа й інше) шляхом порівняння місцевих предметів та орієнтирів з їх зображенням на карті викликають труднощі та не завжди забезпечують точне орієнтування і своєчасне виконання бойових задач. Також отримання точних даних о місцезнаходженні звичайними засобами топографічного прив'язання у ряді випадків важко та вимагає великих втрат часу.

Наявність сучасних технічних засобів навігаційних систем дає змогу командирам швидко та оперативно приймати рішення, а також безперервно і глибоко управляти підрозділами у ході бойових дій. Особливо така апаратура корисна при діях підрозділів на місцевості, бідній на орієнтири (степ, ліс, пустеля, а також за умов обмеженої видимості). Все це привело до оснащення підрозділів спеціальною наземною навігаційною апаратурою, яка стежить за пересуванням машини, рухомого об'єкту або самохідної установки (СУ) та різними способами відмічає його місцезнаходження, координати, пройдений шлях та інші параметри, що дає можливість експлуатувати СУ на реальній місцевості, або просторі на більш високому інформативному рівні.

Озброєння підрозділів протиповітряної оборони та інших формувань Збройних Сил України у своєму складі має різні модифікації наземної, або як

її ще називають – танкової навігаційної апаратури (ТНА), яка призначена для відпрацювання поточних координат самохідних установок та визначення дирекційного кута на пункт призначення [1]. Як правило, ця апаратура виготовлена у 1970 – 80-х роках на елементній базі тих часів, а закладені в її побудову принципи вже морально застаріли. При пересуванні ТНА визначає координати СУ із середньою похибкою більше 90 м на кожних 10 – 30 км пройденого шляху [4]. А якщо СУ рухається по непідготовленій місцевості зі складним рельєфом, ця похибка може зрости в 2-3 рази. Така точність у ніякому разі не може задовольнити потреби сучасної як протиповітряної, так і загальновійськової операції [2], а сучасний досвід застосування та випробувань законних і вітчизняних комплексів навігаційної апаратури наземних рухомих об'єктів свідчить про те, що поставлені перед ними задачі не завжди виконуються з необхідним результатом та в межах закладених в апаратуру конструктивно-технічних характеристик [5].

На сьогоднішній день існує добре налагоджена система визначення координат рухомих об'єктів (СУ) за допомогою супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) “NAVSTAR-GPS” та “ГЛОНАСС”, впроваджена велика кількість різновидів компактної та високоточної апаратури користувача СРНС [1, 3, 7, 8]. Але у зазначеній літературі не досліджується проблема комплексування бортової навігаційної апаратури рухомих об'єктів та апаратури користувача СРНС з метою підвищити точність визначення координат СУ. В літературі [2, 4] наведені загальні вимоги щодо забезпечення навігаційною інформацією наземних рухомих об'єктів, та дається опис існуючої навігаційної апаратури ТНА. У джерелах [5, 6] приведені пропозиції по реалізації технічних рішень щодо підвищення точності визначення координат наземними рухомими об'єктами, але не здійснено опис функціональної побудови та принципів роботи схем, які реалізують ці рішення. Також, у джерелах [2, 4 – 6], не розраховані помилки роботи

ТНА по точності визначення координат під час маршруту конкретної СУ. У джерелах [7, 8] наданий опис технічних характеристик апаратури користувача СРНС без урахування особливостей її експлуатації на самохідних установках та неточностей визначення координат, які виникають при різних умовах зазначеної експлуатації.

**Мета статті.** За рахунок комплексування бортової навігаційної апаратури СУ та апаратури користувача СРНС пропонується суттєво підвищити точність та оперативність визначення координат наземних рухомих об'єктів. Підвищення точності та оперативності визначення координат реалізується на підставі розробки та використання пристрою комплексування, який націлений на сумісне вирішення задач визначення координат самохідних установок за допомогою ТНА та апаратури користувача СРНС.

### **Аналіз помилок ТНА на точність визначення координат самохідних установок**

*Помилки визначення вихідних координат.* Помилки у визначенні вихідних даних (а саме трьох координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  кінцевої крапки маршруту руху СУ – пункту призначення) залежать від метода визначення вихідних координат та дирекційного кута [4]. Для наземних СУ точне знання третьої координати  $Z$  – висоти над рівнем моря не є вкрай необхідним, і тому можна не враховувати помилку її визначення при подальших розрахунках та при розробці певних схемотехнічних рішень.

Часто в умовах експлуатації вихідні координати визначаються по топографічній карті. Чим більше масштаб карти, тим точніше можна визначити координати вихідної точки.

Найбільший вплив на точність обчислення координат робить помилка у визначенні вихідного дирекційного кута. Вихідний дирекційний кут визначається по видимому орієнтиру або за допомогою артилерійської бусолі. Помилка визначення вихідного дирекційного кута складає 0,8 – 1,5 град. Треба зазначити, що помилки в обчислюванні координат по мірі віддалення машини від вихідної точки збільшуються навіть при постійній помилці вимірювання дирекційного кута.

*Помилка вимірювання поточного дирекційного кута машини.* Поточний дирекційний кут у ТНА вимірюється за допомогою гіроскопічних курсовказівників (або як їх ще називають – гірокурсказівників). Помилки гірокурсказівника обумовлені конструкцією приладу та точністю його виготовлення, а також неповною компенсацією вертикальної складової швидкості обертання Землі та впливом зовнішніх оборотувань, які діють на рамки гіроскопу при русі машини. Настроювання компенсації впливу вертикальної складової швидкості обертання Землі

на величину відходу гіроскопу (широтне балансування) є експлуатаційним регулюванням. Регулювати швидкість змушеної прецесії гірокурсказівника потрібно у відповідності з широтою місцевості, на якій використовується машини з навігаційною апаратурою. Сучасні навігаційні гірокурсказівники мають середні швидкості уходів з заданого напрямку від 1 до 2,5 градусів за годину. З плином часу загальний відхід гіроскопу з заданого курсу накопичується, що приводить до збільшення помилки у визначенні координат.

*Помилки вимірювання швидкості руху СУ.* При вимірюванні швидкості руху машини по числу обертів відомого та ведучого колеса виникають помилки, обумовлені пробуксовкою та юзом коліс, а також зміненням їх діаметру (для колісних машин при зміні тиску в шинах, а для гусеничних - при зносі зачеплення траку - ведуче колесо). Крім того, з'являються помилки у визначенні координат, обумовлені тим, що реально пройденій машиною шлях складається зі спусків та підйомів, а на карті зображена горизонтальна проекція місцевості.

*Помилки в приладах СУ.* Однією з основних причин помилки в приладах являється відхилення головної осі гіроскопа. Являється припустимим, якщо відхилення головної осі не перевищує 2,5 градусів за годину. Помилки в роботі лічильно-вирішувального пристрою на точність роботи апаратури практично не впливають. Величина помилок, обумовлених відходом головної осі гіроскопа та похибок визначення вихідного дирекційного кута та коректури шляху тим більша, чим довший маршрут руху.

Також, на утворення загальної помилки, крім перелічених вище причин, оказує вплив складність маршруту: кривизна маршруту руху, обумовлена нерівністю доріг; наявність перешкод (водойми, гори, яри), які необхідно об'їжджати, тощо. Враховуючи це, перед маршем необхідно визначити коефіцієнт коректури шляху, тобто вводити в апаратуру похибку на рельєф місцевості та інші помилки вимірювання шляху.

Аналіз помилок окремих приладів та навігаційних систем у цілому показує, що для підвищення точності визначення координат місцеположення СУ (машини) необхідно слідкувати за правильністю визначення вихідних даних, точністю широтного балансування та правильністю введення коефіцієнта коректури шляху.

Проведені розрахунки показали, що на коротких маршрутах (до 15 км) апаратура дозволяє визначити місцезнаходження машини з помилкою 0,5 – 0,7% пройденого шляху (табл. 1), що складає від 75 до 105 м. При русі протягом 1 – 3 годин по складній місцевості помилка складає 1,5 – 2% пройденого шляху, що складає від 225 до 300 м. Якщо ж марш-

рут руху збільшується до 100 км і більше, то помилка визначення місцезнаходження СУ істотно підвищується.

Таблиця 1

Залежність помилки гірокурсказівника від пройденого самохідною установкою шляху

Відстань, км	Помилка визначення місцезнаходження СУ, м			
	0,5%	0,7%	1,5%	2,0%
1	5	7	15	20
2	10	14	30	40
3	15	21	45	60
4	20	28	60	80
5	25	35	75	100
6	30	42	90	120
7	35	49	105	140
8	40	56	120	160
9	45	63	135	180
10	50	70	150	200
11	55	77	165	220
12	60	84	180	240
13	65	91	195	260
14	70	98	210	280
15	75	105	225	300

Єдиним традиційним способом зменшення помилки при русі на значні відстані є те, що хоча б через кожну годину слід перевіряти роботу апаратури по орієнтирам, що позначені на карті та маються на місцевості і вводити відповідні поправки в установку дирекційного кута та коректури шляху. При цьому помилка визначення координат апаратурою не перебільшить 1,5% пройденого шляху, але такі вимушені зупинки часто є неприпустимими. Слід сказати ще й те, що зі стрімким розвитком зброї та військової техніки ці точності в десятки, сотні метрів, або, навіть, кілометри, не задовільняють умовам сучасних військових операцій.

До негативних факторів, що впливають, значною мірою, на топогеодезичне забезпечення сучасних військових операцій можна також віднести наступне: невідповідність різних картографічних систем топографічних карт, які використовують командири; складність та великий час, що затрачається на визначення координат СУ традиційними методами; громіздкість та велика ціна застарілої апаратури топоприв'язки.

На думку авторів, одним із можливих шляхів підвищення точності визначення координат самохі-

дних установок є удосконалення схемотехнічної побудови ТНА. Основним схемотехнічним аспектом при цьому є використання розробленого авторами **пристрою комплексування апаратури визначення координат самохідних установок та апаратури користувача супутникових радіонавігаційних систем (АК СРНС)**. Переваги використання АК СРНС над іншими навігаційними системами полягають у всепогодності та універсальності, простоті в експлуатації, надзвичайно високій точності та швидкості вимірювань.

**Вибір та обґрунтування функціональної схеми пристрою комплексування.** Функціональна схема пристрою комплексування наземної навігаційної апаратури (ТНА) самохідних установок та апаратури користувача СРНС зображена на рис. 1.

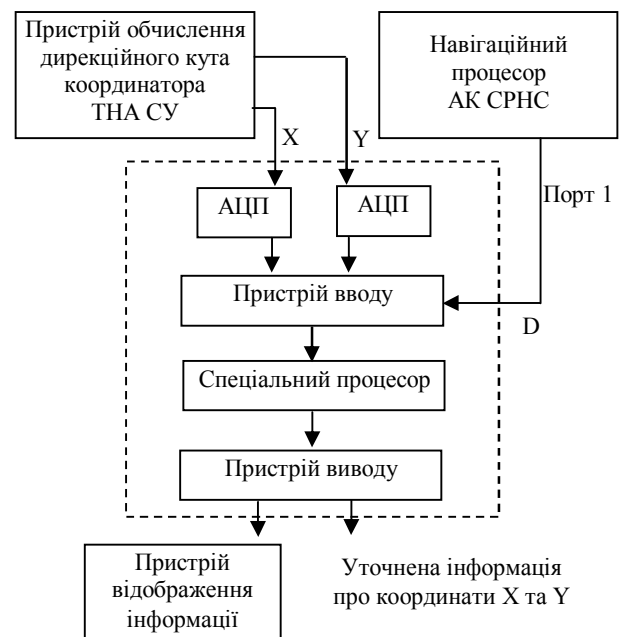


Рис. 1. Функціональна схема пристрою комплексування наземної навігаційної апаратури СУ та апаратури користувача СРНС

Пристрій комплексування представляє собою пристрій вводу, спеціальний процесор, пристрій виводу та відображення інформації. Основою пристрою комплексування є цифровий пристрій вводу, який здійснює регулювання потоків навігаційної інформації для найбільш ефективного управління спеціальним процесором, що забезпечує сумісне вирішення задачі визначення координат наземних СУ з більш високою точністю.

Також пристрій комплексування містить два 8-розрядних, аналогово-цифрових перетворювачі (АЦП), що виконують функцію перетворення аналогової інформації, що поступає з синусно-косинусного механізму пристрою обчислення дирекційного кута координатора (гірокурсказівника) ТНА

(координати X та Y) [4]. У цих АЦП інформація перетворюється у цифровий код для подальшої її комутації.

Усі сучасні модифікації апаратури користувача СРНС мають у своєму складі спеціальний навігаційний процесор, який є основним інструментом швидкого і точного визначення координат та управління підсистемами АК.

Серійні модифікації АК СРНС виробляються в багатьох країнах. Так, зразки, які виготовляються на Україні представлені на сайті [7], а які виготовляються однією з провідних країн в цій галузі (до речі – власником СРНС “NAVSTAR-GPS”), США – на сайті [8].

Приємно відмітити, що топологічну структуру, всі креслення та фотошаблони як мікросхеми навігаційного процесору, так і взагалі всього модулю вітчизняної модифікації АК СРНС повністю розробили та впровадили у виробництво на підприємстві „Оріон-Навігація” у місті Сміла Черкаської області. Цю інформацію повідомив одному з авторів статті представник конструкторського бюро заводу.

З виходу навігаційного процесора АК СРНС, через порт 1 поступає цифрова інформація (код даних – D) по стандартному протоколу обміну через 8-ми розрядну шину на пристрій вводу. Пристрій вводу, що виконаний на 8-розрядних регістрах, комує оцифровану інформацію, що поступає з виходів АЦП та з порта 1, і передає її на спеціальний процесор. Спеціальний процесор виконаний на мікроконтролері та має достатньо складну будову з різними портами, шинами управління та обміну даними, пам'яттю, та власним програмним забезпеченням. Зі спеціального процесора оброблена інформація в цифровому вигляді поступає пристрій виводу, який представляє собою один 8-розрядний регістр, а звідти – на пристрій відображення інформації. Паралельно, з пристрою виводу, може подаватись уточнена інформація про координати X та Y.

Ця інформація поступає у цифровому 8-розрядному коді по стандартному протоколу обміну, та може застосовуватись в інших типах апаратури користувача СРНС для більш якісного вирішення навігаційних задач.

## Висновки

Таким чином, на основі проведеного аналізу помилок роботи танкової навігаційної апаратури, а саме: помилок визначення вихідних координат, вимірювання потокового дирекційного кута, вимірювання швидкості руху машини та інших чинників, було встановлено, що точність визначення координат самохідних установок не задовольняє умовам сучасних військових операцій.

Тому, були запропоновані схемотехнічні аспекти підвищення точності визначення координат самохідних установок при користуванні даними супутникової радіонавігаційної системи. Основу цих аспектів створює пристрій комплексування.

На відміну від відомих способів навігації наземних СУ у цей пристрій поступає та сумісно обробляється інформація про координати від широко застосовуємого в військах, механічного, перевізного курсопрокладчика (гірокурсозказівника) ТНА та від сучасної компактної переносної апаратури користувача СРНС.

Розроблений пристрій комплексування дозволяє підвищити точність визначення координат СУ у порівнянні зі старими системами, що знаходяться на озброєнні підрозділів протиповітряної оборони та інших формувань Збройних Сил України.

## Список літератури

1. *Військова топографія / Під ред. А.В. Гончарова. – К.: М-во оборони України, Військ. ін-т Київськ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка, 1998. – 232 с.*
2. *Корольов В.М. Забезпечення навігаційною інформацією наземних рухомих об'єктів – важливе державне завдання. // Наука і оборона. – К., 1998. – № 9. – С. 59–60.*
3. *Хвостов В., Воронов Н., Ільющин В., Масленников А. Топогеодезическое и навигационное обеспечение вооруженных сил США на национальном и глобальном уровне. // Зарубежное военное обозрение. – М., 1998. – № 5. – С. 10.*
4. *Варламов В.М., Комов Г.Ф., Посох В.І. Работа з танковою навігаційною апаратурою ТНА-3. – Х.: ХВУ, 1998. – 12 с.*
5. *Карманний Є.В., Садовий К.В. Використання апаратних та програмних засобів сумісної обробки навігаційних параметрів для підвищення точності визначення координат наземними рухомими об'єктами // Проблеми інформатики і моделювання. Матеріали п'ятої міжнародної науково-технічної конференції. – Х.: НТУ „ХПІ”. – 2005. – С. 57.*
6. *Карманний Є.В., Садовий К.В., Коваленко С.П., Долженко А.Ю. Розробка радіоелектронного пристрою, що підвищує точність роботи бортової навігаційної апаратури наземних рухомих об'єктів підрозділів протиповітряної оборони // Матеріали другої наукової конференції ХУ ПС ім. І. Кожедуба. – Х.: ХУ ПС. – 2006. – С. 59.*
7. *Сайт «Оріон-Навігація» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.orizon-navigation.com>.*
8. *Сайт компанії «Garmin» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.garmin.com>.*

Надійшла до редколегії 18.12.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Єрмаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.