

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ  
НАЗЕМНОГО РУХОМОГО ОБ'ЄКТА (НРО)  
ШЛЯХОМ СУМІСНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ,  
ЩО НАДХОДИТЬ ІЗ ДАТЧИКІВ КУРСУ ТА ШВИДКОСТІ**

© Іванов В.І., Корольов В.М., 2004

*Повышение точности определения координат наземного подвижного объекта путем совместной обработки информации, поступающей с датчиков курса и скорости. Предлагается метод повышения точности систем навигации наземных подвижных объектов путем учета собственного ухода датчика курса и относительного проскальзывания одного из бортов машины относительно другого.*

*Increase of accuracy of definition of coordinates of ground mobile object by joint processing of the information acting of gauges of a rate and speed. The method of increase of accuracy of systems of navigation of ground mobile objects is offered by the account of an own machine of the gauge of a rate and relative to slide of one of boards of the machine concerning another.*

**Постановка проблеми.** В системах навігації (СН), якими оснащуються НРО поточні координати  $x_i, y_i$  визначаються шляхом обробки даних про початкові координати машини  $x_0, y_0$ , дирекційний кут  $\alpha_i$  та характер місцевості (коефіцієнт коректури шляху  $K_{ки}$ ) з наступних співвідношень [1].

$$\begin{cases} x_i = x_0 + K_{\text{кш}} \sum_{i=1}^N S_i \cos \alpha_i \\ y_i = y_0 + K_{\text{кш}} \sum_{i=1}^N S_i \sin \alpha_i \end{cases}, \quad (1)$$

де  $S$  - відстань, що пройдена машиною за час між  $i-1$  та  $i$ -им вимірюваннями

При русі НРО по сипких, рихлих ґрунтах, снігу тощо, типова ситуація, коли має місце пробуксування одного з бортів. В існуючих СН НРО датчик швидкості розташований в одному з направляючих коліс. Швидкість відповідного борта в цьому випадку приймається за швидкість центра мас машини. Тоді при пробуксовуванні цього борта буде мати місце накопичення похибки місцевизначення.

**Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.** У сучасних умовах навігаційна інформація (НІ) знаходить все більш широке застосування як у військових, так і цивільних сферах. Військові фахівці НАТО та СНД розглядають НІ як один з важливих видів бойового забезпечення. Для забезпечення гнучкого, безперервного та прихованого управління процесами пересування, зосередження, маневру тощо, необхідна точна інформація про місцезнаходження транспортних одиниць. Застосування методу, що пропонується, дозволить покращити характеристики точності СН.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених розв'язанню даної проблеми.** Використання  $K_{\text{кш}}$ , що обговорюється в [1] не дозволяє зняти повністю похибку, що виникає за рахунок відносного пробуксовування бортів НРО, із наступних причин.  $K_{\text{кш}}$  - визначається для характерних відрізків траси до початку руху машини. Необхідне його значення вводиться в СН при виході машини на відповідний відрізок траси. Заздалегідь визначені значення  $K_{\text{кш}}$  можуть не відповідати реальності, особливо коли обстановка швидко змінюється.

В комплексних СН алгоритми обробки знімають тільки випадкову складову помилки, а систематична складова потрапляє в оцінку [3]. Метод, що пропонується, дозволяє значно зменшити величину систематичної складової похибки, що свідчить про актуальність цієї проблеми.

**Постановка завдання.** Для покращення характеристик точності СН НРО необхідна розробка методів компенсації систематичних складових її похибки.

**Невирішені частини загальної проблеми.** Покращення характеристик точності СН НРО шляхом врахування пробуксовування одного з бортів відносно другого вимагало встановлення додаткового датчика швидкості та розробки алгоритму сумісної обробки інформації, яка надходить з курсової та шляхової систем.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Для зменшення впливу відносної пробуксування бортів будемо використовувати два датчики швидкості, які встановлені по кожному з бортів. Тоді в розрахунках можна буде використовувати значення лінійних швидкостей  $V_{\text{п}}$  та  $V_{\text{л}}$  правого та лівого бортів відповідно.

Крім того, будемо розглядати два значення дирекційного кута  $\alpha_i, \alpha_{i+1}$  для двох послідовних значень часу  $t_i, t_{i+1}$ . Створимо дві різниці

$$\Delta V = V_{\text{п}} - V_{\text{л}} \quad (2)$$

$$\Delta \alpha = \alpha_{i+1} - \alpha_i \quad (3)$$

причому  $\Delta V$  обчислюється для моменту часу  $t_{i+1}$ . Можуть виникнути такі варіанти співвідношень знаків у величин  $\Delta V, \Delta \alpha$ :

1) $\Delta V > 0, \Delta \alpha = 0,$	5) $\Delta V < 0, \Delta \alpha < 0,$	(4)
2) $\Delta V < 0, \Delta \alpha = 0,$	6) $\Delta V < 0, \Delta \alpha > 0,$	
3) $\Delta V = 0, \Delta \alpha \neq 0,$	7) $\Delta V > 0, \Delta \alpha < 0.$	
4) $\Delta V > 0, \Delta \alpha > 0,$		

1. При  $\Delta V > 0$  швидкість лівого борта менша за швидкість правого, що відповідає повороту машини ліворуч. Однак, з гірокурсовказівника (ГКВ) маємо інформацію  $\Delta \alpha = 0$ , що відповідає прямолінійному руху машини. Це означає, що правий борт пробуксовує відносно лівого і показники правого датчика швидкості

(ДШШ<sub>n</sub>) не несуть достовірної інформації про швидкість машини. Таким чином - значення шляхової швидкості  $V_{шл}$  буде величина  $V_n$ .

2. Ситуація аналогічна п. 1 з тою різницею, що пробуксовує лівий борт. В цьому випадку значенням  $V_{шл}$  буде  $V_n$ .

3. При  $\Delta V = 0$  машина стоїть нерухомо або рухається прямолінійно. Відхил  $\Delta\alpha$  в цьому випадку буде відхилом ГКВ. Використовуючи умову  $\Delta V = 0$ ,  $\Delta\alpha \neq 0$  ми можемо зняти відхил ГКВ для випадків, коли машина стоїть або рухається прямолінійно, наблизивши цим значення дирекційного кута  $\alpha$  до істинного. Співвідношення знаків  $\Delta V$  та  $\Delta\alpha$  за варіантами 4 і 5 виникає коли машина рухається праворуч або ліворуч, відповідно. При реалізації співвідношення знаків за варіантами 3, 4, 5 шляхова швидкість обчислюється за формулою :

$$V_{шл} = \frac{V_n + V_d}{2}, \quad (5)$$

що відповідає шляховій швидкості центра мас машини.

Реалізація 6, 7 варіантів означає, що система несправна.

Покажемо досягнення додатного ефекту при корекції курсового кута, що надходить з курсової системи, за інформацією від датчиків шляху - швидкості (ДШШ), з врахуванням значень похибок вказаних датчиків та курсової системи.

Як відомо з літератури [2], похибки ДШШ, що побудовані на базі ефекту Допплера, складають 0.1% величини, яка вимірюється. З джерела [1] маємо, що типовий ГКВ, наприклад, "Маяк - 22", може мати власний відхил до 23 поділок кутoměра за годину. Оцінимо похибку в обчисленні координат  $\Delta R_\alpha$  при умові, що швидкість вимірюється абсолютно точно, а курсова система має власний відхил 23 п.к./год. При русі машини з  $V = 20$  м/с за прямолінійним відрізком траси протягом однієї години відстань між розрахунковою та реальною точками її місцезнаходження за рахунок відхилу ГКВ буде складати навколо 900м тобто  $\Delta R_\alpha \approx 900$ м. З іншого боку, якщо допустити, що курсова система абсолютно точна, а швидкість визначається з типовою похибкою, то помилка у визначенні координат за рахунок погрешності  $\Delta R_v$  буде складати 70м. Бачимо, що  $\Delta R_\alpha$  на порядок більша за  $\Delta R_v$ , таким чином, корекція показників курсової системи по ДШШ виправдана.

На рис. 1 подана блок - схема алгоритму зняття відхилу ГКВ на стоянці або прямолінійного руху та врахування пробуксовування одного з бортів машини відносно другого. Тут через  $\alpha_m$  - позначено поточний дирекційний кут машини.

Розглянутий спосіб підвищення точності навігаційної апаратури був перевірений на напівнатурному стенді, елементи якого (рис. 2) мали наступне функціональне навантаження.

Моделююча ЕОМ, в якій задається траєкторія машини шляхом формування кодів управління на виконавчі механізми.

Пристрій спряження з об'єктом ПСП!. Тут коди з виходу ЕОМ перетворюються в напруги, що живлять відповідні виконавчі механізми. В ПСП2 напруги електричних сигналів з ГКВ, ДШШ<sub>n</sub>, ДШШ<sub>d</sub> перетворюються в коди і надходять на вхід бортової ЕОМ. Імітатор руху - сукупність виконавчих механізмів, які відтворюють частоту обертання направляючих правого та лівого коліс бортів машини під час руху по трасі, яка задана. Датчики ДШШ<sub>n</sub>, ДШШ<sub>d</sub> під'єднанні до двигунів, що імітують частоти обертання направляючих коліс.

Бортова ЕОМ здійснює аналіз руху машини за траєкторією, що задана, виходячи з показників датчиків.

При нерухомих бортах ( $V_n = V_d = 0$ ) власний відхил ГКВ, що врахований за алгоритмом відліку відхилу курсової системи на прямолінійних ділянках руху або при стоянці машини, складає за шкалою кутoměра 22.6 поділок. За той самий час руху на постійному курсі зі швидкістю  $V_n = V_d = 20$ м/с власний відхил ГКВ складає 22.9 п.к.

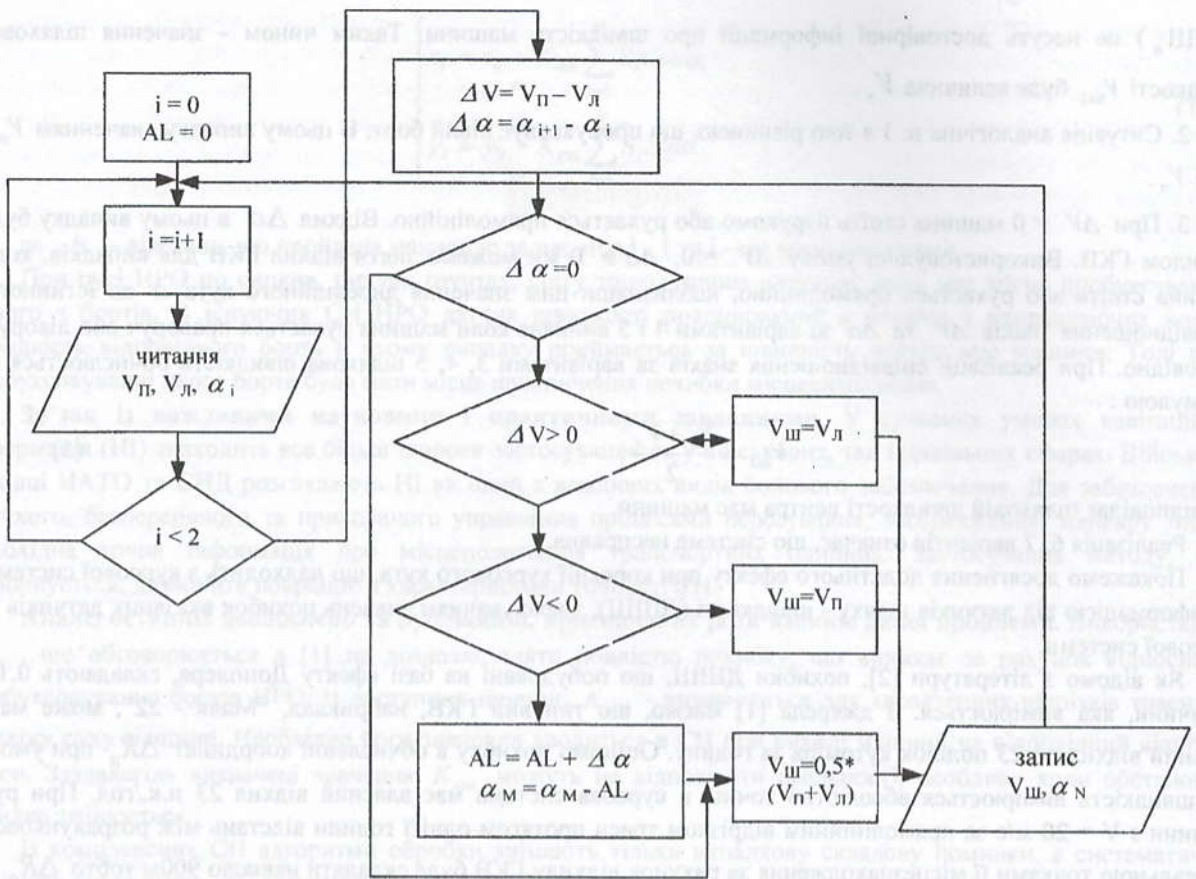


Рис. 1. Блок - схема алгоритму зняття відхилу ГКП

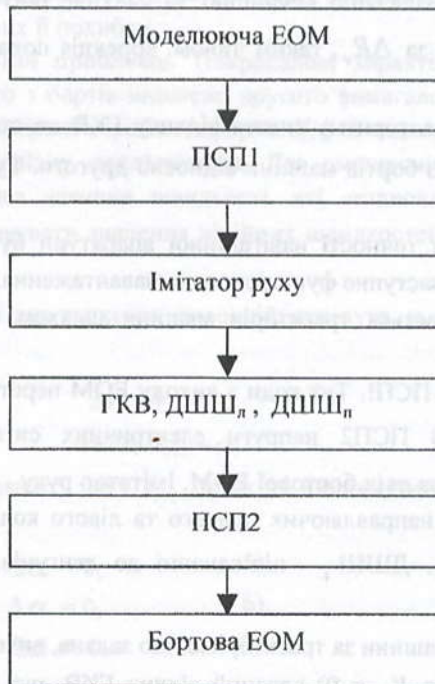


Рис. 2. Елементи напівнатурного моделювального стенда

При імітації пробуксовування одного з бортів відносно другого ( $\Delta V = V_n - V_d$ ) отримані значення відносної похибки  $\xi$  в визначенні координат (при  $V_n = 10$  м/с), які наведені в таблиці.

Таблиця

## Значення відносної похибки місцевизначення

(м/с)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(%)	2.47	5.02	7.53	10.06	12.46	15.06	17.54	20.08	22.58	25.01

Таким чином експериментальні результати, що отримані на напівнатурному стенді, підтверджують можливість підвищення точності систем навігації НРО за рахунок використання алгоритму, який запропоновано.

**Висновки.** Точність систем навігації НРО можливо підвищити за рахунок зменшення впливу власного відхилю ГКВ при стоянці та на ділянках траєкторії з прямолінійним рухом, врахування пробуксовування одного з бортів відносно другого.

1. Кузнецов М.И. и др. Танковые навигационные системы. М.: ВИ 1978. 320с. 2. Корнеев В.В. и др. Основы автоматизации и танковые автоматические системы. М.: ВИ 1976. 545с. 3. Корольов В.М. Алгоритм комплексной обработки навигационной информации, яка поступає від одометричної та радіотехнічних навігаційних систем, на базі методу максимальної правдоподібності // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. - Львів, 2001 – С. 79 – 82.