

УДК 53.083 (430.1)

Д.В. Кір'янов, С.А. Тишко, В.М. Васюк

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації НТУУ „КПІ”, Полтава

## ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ ВІДХИЛЕННЯ АНТЕННОЇ ЩОГЛИ В ВЕРТИКАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ

В статті проведений аналіз принципів будови вимірювальних пристроїв вертикальності антенних щогл. Запропонована математична модель вимірювача параметрів вертикальності підйому щогли та аналітичні вирази для розрахунку точнісних характеристик блоків вимірювача і геометричних розмірів чутливого елемента. Даний вимірювач доцільно використовувати в автоматичних системах підйому, що дає можливість зменшити час на розгортання антен порівняно з існуючими засобами.

**Ключові слова:** антенний пристрій, щогла, кут відхилення, кутова швидкість.

### Вступ

В системах зв'язку військового призначення в польових умовах широко застосовуються рухомі радіорелейні станції (РРС). Основними недоліками існуючих зразків рухомих станцій радіорелейного зв'язку є значний час підготовки їх до застосування та велика трудомісткість ручних операцій. Для усунення цих недоліків РРС військового призначення необхідно скоротити час розгортання (згортання) антенно-щоглових пристроїв і замінити ручні операції, що виконуються людьми, діями автоматичних пристроїв. Це визначає необхідність створення системи автоматичного управління розгортанням антенної щогли в умовах динамічних вітрових навантажень.

**Аналіз літератури.** [1, 2] приводиться багато прикладів технічної реалізації автоматичних та автоматизованих пристроїв для проведення геодезичних вимірювань. Проте до цього часу так і не запропоновано пристрою, який зміг би визначати точне вертикальне положення антенної щогли в умовах значних вітрових навантажень під час її вертикального підйому.

**Мета статті.** Запропонувати математичну модель пристрою визначення параметрів просторового положення антенно-щоглового пристрою в вертикальній площині, для формування необхідного переліку вимірювальної інформації для проведення автоматичного (автоматизованого) режимів підйому щогл. Дана математична модель може використовуватись для формування вимог до часових і точнісних характеристик елементів, які входять до даної вимірювальної системи, розрахунку сумарної похибки вимірюваних величин, а також для визначення параметрів вимірювальної схеми.

### Основна частина

Для успішного вирішення задач підйому антенних щогл рухомих засобів радіозв'язку в автоматичному (автоматизованому) режимах в умовах значних вітрових навантажень необхідно мати інформацію про наступний набір фізичних величин: кут відхилення щогли від вертикального положення ( $\alpha$ ); кутова швидкість відхилення щогли від вертикального положення ( $\dot{\alpha}$ ); кут відхилення в системі координат щогли ( $A$ ); кутова швидкість в системі координат щогли ( $\dot{A}$ ).

Для вимірювання вище зазначених величин пропонується використовувати вимірювальний пристрій, структурна схема якого приведена на рис. 1. Основними елементами вимірювальної системи є:

– блок вимірювальних пристроїв, до складу якого входять чутливий елемент (ЧЕ), і пристрій зняття інформації (ПЗІ). Даний блок призначений для вимірювання кутів  $\alpha$  і  $A$ , і перетворення інформації про їх значення в форму, зручну для наступної обробки;

– блок часових інтервалів, в склад якого входять задавальний генератор (ЗГ) і формувач часових інтервалів (ФЧІ). Даний блок призначений для утворення часових інтервалів зняття інформації з блоку вимірювальних пристроїв;

– обчислювальний блок, в склад якого входять арифметико-логічний пристрій (АЛП) і запам'ятовуючий пристрій (ЗП). Даний блок призначений для збору інформації про значення величин  $\alpha$  і  $A$ , а також розрахунку значень  $\dot{\alpha}$  і  $\dot{A}$ , і подальшої передачі її в систему стабілізації вертикального положення щогли.

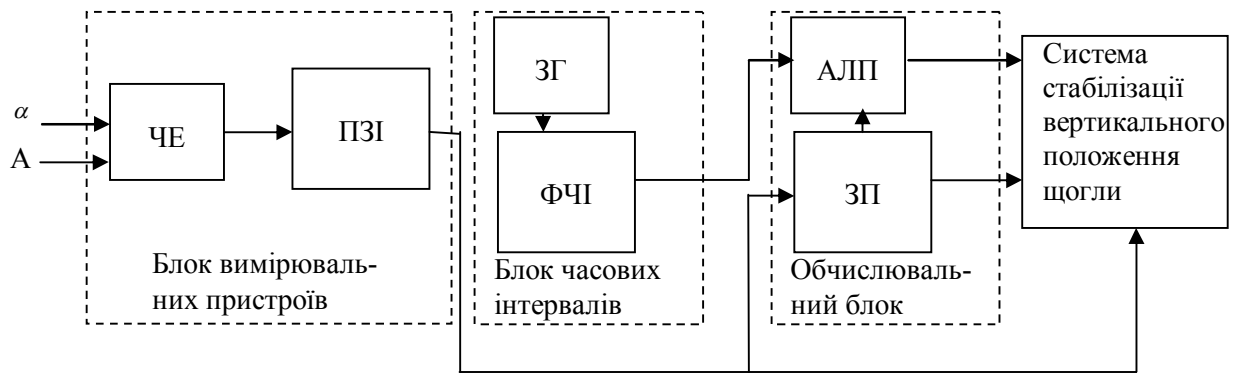


Рис. 1. Структурна схема пристрою визначення параметрів відхилення щогли в вертикальній площині

Як видно, з вищевказаного, значення величин  $\alpha$  і  $A$  визначаються прямими методами вимірювань блоком вимірювальних пристроїв.

Значення  $\vartheta_\alpha$  визначаються з використанням співвідношення:

$$\vartheta_\alpha = \Delta\alpha/\Delta t, \quad (1)$$

де,  $\Delta\alpha = \alpha_{i+1} - \alpha_i$ ;  $\alpha_{i+1}, \alpha_i$  - значення кута відхилення щогли від вертикального положення в  $i+1$  та  $i$  моменти вимірювань відповідно;  $\Delta t$  - період зняття вимірювальної інформації з ПЗІ.

Значення  $\vartheta_A$  визначається з використанням співвідношення:

$$\vartheta_A = \Delta A/\Delta t, \quad (2)$$

де  $\Delta A = A_{i+1} - A_i$ ;  $A_{i+1}, A_i$  - значення кута відхилення в системі координат щогли в  $i+1$  та  $i$  моменти вимірювань відповідно.

Вибір значення  $\Delta t$  проводиться виходячи з вимог:

$$t_{\text{вmin}} - t_p \geq \Delta t \geq t_{\text{чз}} + t_{\text{уси}} \quad (3)$$

де  $t_{\text{вmin}}$  - мінімальний час впливу зовнішніх факторів, що впливають на відхилення щогли від вертикального положення;  $t_p$  - робочий час системи стабілізації вертикальності щогли;  $t_{\text{чз}}, t_{\text{уси}}$  - швидкодія ЧЕ і ПЗІ відповідно.

Для обґрунтування вимог до точнісних характеристик елементів, що входять в дану вимірювальну систему запишемо відношення для визначення середньоквадратичного відхилення (СКВ) сумарної похибки вимірюваних величин. Аналіз структурної схеми вимірювальної системи показує, що сумарні значення похибки вимірювань величин  $\alpha$  залежить від похибки блоку вимірювальних пристроїв.

Сумарна похибка вимірювань  $A$  залежить від похибок блоку вимірювальних пристроїв і початкової установки вимірювальної системи. Ввівши припущення про відсутність взаємної кореляції між вище вказаними величинами, співвідношення для визначення СКВ похибки  $A$  має вигляд:

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{\text{БВП}}^2 + \sigma_{\text{ПУ}}^2} \quad (4)$$

де,  $\sigma_{\text{БВП}}, \sigma_{\text{ПУ}}$  - СКВ похибки блоку вимірювальних пристроїв і підсистеми початкової установки.

Обґрунтування співвідношення для СКВ похибки вимірювань  $\vartheta_\alpha$  ( $\sigma_{\vartheta_\alpha}$ ) проведемо згідно методики викладеній в [5]. Для цього проведемо розкладання співвідношення (1) в ряд Тейлора с точністю до малих першого порядку з врахуванням допуску про відсутність кореляційних зв'язків між похибками блоку вимірювальних пристроїв і блоку часових інтервалів. Тоді співвідношення для визначення  $\sigma_{\vartheta_\alpha}$  буде мати вигляд:

$$\sigma_{\vartheta_\alpha} = \frac{1}{\Delta t} \sqrt{\sigma_{\text{БВП}}^2 + \left(\frac{\Delta\alpha}{\Delta t} \sigma_{\text{БЧІ}}\right)^2} \quad (5)$$

де  $\sigma_{\text{БВИ}}$  - СКВ похибки блоку часових інтервалів.

Тоді співвідношення для визначення  $\sigma_{\vartheta_A}$  буде мати вигляд:

$$\sigma_{\vartheta_A} = \frac{1}{\Delta t} \sqrt{\sigma_{\text{БВП}}^2 + \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \sigma_{\text{БЧІ}}\right)^2}$$

Обґрунтування співвідношення для СКВ похибки вимірювань  $\vartheta_A$  ( $\sigma_{\vartheta_A}$ ) проведемо аналогічно, як і для  $\sigma_{\vartheta_\alpha}$ . Аналіз джерел [2, 3] показує, що  $t_{\text{вmin}}$  не перевищує 0,2 с,  $t_p$  для більшості систем автоматичного регулювання об'єктів близьких за призначенням лежить в межах 1...6, СКВ похибки визначення значень величин  $\alpha$  та  $A$ ,  $\vartheta_\alpha$  лежить в межах 1...8 кутових одиниць, відповідно. Тоді в якості блоку вимірювальних пристроїв взяти пристрій для контролю вертикальності щогли [4]. Суть пристрою полягає в високій точності встановлення в вертикальне положення антенної щогли за рахунок використання лазера, вмонтованого в підвішений маятник, який занурений в амортизаційну рідину. Промінь лазера направлений на світлочутливе поле має завжди точне вертикальне положення. При цьому зняття інформації про значення кутів  $\alpha$  та  $A$  може бути реалізовано з використанням ПЗІ проградуированому в прямокутних або в кутових координатах.

В випадку застосування ПЗІ проградуированому в прямокутній системі координат значення кута  $A$  визначається виразом:

$$A = \arcsin X/Y \quad (6)$$

де  $X, Y$  – значення координат визначених з використанням ПЗІ. Значення кута  $\alpha$  визначається з використанням співвідношення:

$$\alpha = \arcsin \sqrt{X^2 + Y^2} / l \quad (7)$$

де  $l$  – відстань от ЧЕ до ПЗІ.

Тоді вираз для визначення СКВ похибки вимірювань  $\alpha$  та  $A$  відповідно будуть мати вигляд:

$$\sigma_{\text{БИУ}\alpha} = \left[ \left( (X^2 + Y^2) / \left( l^4 \sqrt{1 - \frac{X^2 + Y^2}{l^2}} \right) \right) \sigma_l^2 + \sigma_{\text{ЧЭ}\alpha}^2 + \left( (X\sigma_X + Y\sigma_Y) / \left( l \cdot \sqrt{1 - \frac{X^2 + Y^2}{l^2}} \sqrt{X^2 + Y^2} \right) \right)^2 \right]^{1/2},$$

де  $\sigma_X, \sigma_Y, \sigma_l$  – СКВ похибки зняття значень  $X, Y$  та відстані між ЧЕ та ПЗІ;  $\sigma_{\text{ЧЭ}\alpha}$  – СКВ похибки ЧЕ при вимірюванні кута  $\alpha$ ;

$$\sigma_{\text{БИУ}A} = \frac{1}{Y \sqrt{1 - X^2/Y^2}} \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_{\text{ЧЭ}A} \left( \frac{X}{Y} \sigma_Y \right)^2},$$

де  $\sigma_{\text{ЧЭ}A}$  – СКВ похибки ЧЕ при вимірюванні кута  $A$ .

В випадку застосування ПЗІ проградуйованого в кутових координатах, буде справедливим, що даний пристрій має необхідну кількість секторів з відомими відстанями від кожної точки до центру. Тоді значення кута  $A$  визначається в залежності від того, в якому секторі знаходиться сигнал від ЧЕ, а значення кута  $\alpha$  визначається виразом  $\alpha = \arcsin R/l$ , де  $R$  - відстань від початку координат ПЗІ до точки знаходження сигналу на ньому.

Тоді вираз для визначення СКВ похибки вимірювання  $\alpha$  та  $A$  відповідно будуть мати вигляд:

$$\sigma_{\text{БИУ}\alpha} = \frac{1}{l \sqrt{1 - R^2/l^2}} \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_{\text{ЧЭ}\alpha}^2 + \left( \frac{R}{l} \sigma_l \right)^2}$$

де  $\sigma_R$  – СКВ похибки вимірювання відстані від початку координат ПЗІ до точки знаходження сигналу на ньому;

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{\text{ЧЭ}}^2 + \sigma_{\text{УСИ}A}^2},$$

де  $\sigma_{\text{УСИ}A}$  – СКВ похибки вимірювання кута  $A$  ПЗІ.

## Висновки

Запропонована модель вимірювача параметрів відхилення антенної щогли у вертикальній площині, яка є основою для розробки методики розрахунку точнісних характеристик блоків, що входять до його складу та геометричних розмірів чутливого елемента.

Даний вимірювач доцільно використовувати в автоматичних (автоматизованих) системах підйому, що дає можливість зменшити час на розгортання антен на 10 – 15 % порівняно з існуючими засобами. Можливе використання пристрою для контролю за вертикальністю щогли на стаціонарних вузлах зв'язку.

## Список літератури

1. Боровий В.О., Борисик Л.В., Бура чек В.Г. Автоматизація геодезичних вимірювань. – Чернігів: Чернігівські береги, 2004. – 368 с.
2. Пичугин С.Ф., Махинько А.В. Ветровая нагрузка на строительные конструкции. – Полтава: Вид. «АСМІ», 2005. – 342 с.
3. Савицкий Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения. – М.: Стройиздат, 1972. – 174 с.
4. Кір'янов Д.В. Пристрій для контролю вертикальності щогли. Патент на винахід №81422 від 10.02.2008 р.
5. Тойберт П. Оценка точности результатов измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 88 с.

Надійшла до редколегії 25.06.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Р.Г. Савенко, Полтавський технічний університет, Полтава.

## ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ОТКЛОНЕНИЯ АНТЕННОЙ МАЧТЫ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Д.В. Кирьянов, С.А. Тишко, В.М. Васюк

В статье проведен анализ принципов строения измерительных устройств вертикальности антенных мачт. Предложена математическая модель измерителя параметров вертикальности подъема мачты и аналитические выражения для расчета точностных характеристик блоков измерителя и геометрических размеров чувствительного элемента. Дан измеритель целесообразно использовать в автоматических системах подъема, который дает возможность уменьшить время на развертывание антенн сравнительно с существующими средствами.

**Ключевые слова:** антенное устройство, мачта, угол отклонения, угловая скорость.

## A MEASURING DEVICE OF PARAMETERS OF REJECTION OF ANTENNA-POST IS IN A VERTICAL PLANE

D.V. Kyry'yanov, S.A. Tyshko, V.M. Vasyuk

The analysis of principles of structure of measurements devices of verticality of masts is conducted in the article. The mathematical model of measuring device of parameters of verticality of getting up of mast and analytical expressions is offered for the calculation of precision characteristics of blocks of measuring device and geometrical sizes of pickoff. A measuring device is given it is expedient to utilize in the automatic systems of getting up, which enables to decrease time on deployment of scanner assembly comparatively with existent tools.

**Keywords:** scanner assembly, mast, deviation angle, angular velocity.