

УДК 62-55.681.515

Д.В. Кір'янов

Військовий інститут Національного технічного університету України «КПІ», Київ

## ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ВЕРТИКАЛЬНОСТІ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПІДЙОМОМ АНТЕННОЇ ЩОГЛИ

Проаналізовано відомі принципи побудови датчиків просторового положення та розроблено пристрій контролю вертикальності для системи автоматичного керування (САК) підйомом антенної щогли в умовах вітрових навантажень на основі оптичного маятника. Досліджені характеристики САК з запропонованим пристроєм контролю вертикальності щодо точності та оперативності встановлення антенної щогли в вертикальне положення.

**Ключові слова:** пристрій контролю вертикальності, антенна щогла, система автоматичного керування, точність встановлення просторового положення, динамічні вітрові навантаження.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В системах зв'язку військового призначення в польових умовах широко застосовуються рухомі радіорелейні станції (РРС). Забезпечення своєчасної передачі інформації по каналам радіорелейного зв'язку значно залежить від їх мобільності. Суттєвими недоліками існуючих зразків рухомих станцій радіорелейного зв'язку є значний час підготовки їх до застосування та велика трудомісткість операцій при розгортанні антенно-щоглових пристроїв. Для усунення цих недоліків РРС військового призначення необхідно скоротити час розгортання (згортання) антенно-щоглових пристроїв і замінити ручні операції діями автоматичних пристроїв. Це визначає необхідність створення системи автоматичного керування розгортанням антенної щогли.

Одним з основних елементів системи автоматичного керування підйомом антенної щогли є пристрій (датчик) контролю вертикальності (ПКВ) щогли. Застосування ПКВ дає можливість автоматично з заданою точністю визначати ступінь відхилення антенної щогли в двох взаємно перпендикулярних вертикальних площинах та проводити підйом антенної щогли в умовах значних вітрових навантажень.

**Аналіз досліджень та публікацій.** На сьогоднішній день існує цілий ряд пристроїв які здатні автоматично контролювати вертикальність положення різних об'єктів на будівництві та в гірничій промисловості [1–3]. Проблемам автоматизації геодезичних вимірювань присвячене видання [4]. Наведені в [4] датчики засновані на різних принципах роботи та мають достатньо високу точність визначення просторового положення об'єктів. Проте жоден з наведених датчиків не вирішує в комплексі завдання автоматичного вимірювання відхилення антенної щогли в вертикальних площинах в умовах динамічних вітрових навантажень.

**Мета статті** – вдосконалення систем автоматичного розгортання антенно-щоглових пристроїв РРС шляхом розробки та дослідження пристрою контролю вертикальності, що здатний працювати в умовах

динамічних вітрових навантажень. Розроблений датчик повинен мати достатньо високу точність (доли градуса), працювати в умовах ударних навантажень та широкого діапазону температур (-40; 60°C), мати невисоку вартість, мінімальні вагу та габарити.

### Основна частина

Система автоматичного керування підйомом антенної щогли складається з двох основних підсистем: підсистеми вертикального висунення антенної щогли за допомогою силової установки (наприклад, гідравлічного або гідроцепного підйомника) та підсистеми стабілізації вертикального положення щогли, що складається з об'єкта керування (антенної щогли), чотирьох виконавчих механізмів (ВМ) з барабанами для намотки тросових відтяжок. Розгляд підсистеми висунення антенної щогли не входить до завдань даного дослідження. Будемо вважати, що ця підсистема здатна забезпечити постійну швидкість висунення щогли.

Головним завданням системи автоматичного управління підйомом щогли рухомої РРС є стабілізація вертикального положення під час висунення телескопічної антенної щогли за допомогою виконавчих механізмів (ВМ) в умовах динамічного вітрового навантаження [5]. Система стабілізації вертикального положення складається з наступних елементів (рис. 1): антени 1, телескопічної антенної щогли 2, виконавчих механізмів 3, сталевих тросів 4 та пристрою контролю вертикальності щогли 5. Для простоти на рис. 1 зображено лише дві секції телескопічної щогли.

Під час вертикального підйому в результаті дії вітрового навантаження  $Q(t)$  антенна щогла відхиляється від вертикального положення в площині виконавчих механізмів  $ВМ_1-ВМ_2$  на відстань  $u_{12}$ . Пристрій контролю вертикальності (датчик вертикальності) реєструє просторове положення верхівки антенної щогли в даній площині. Сигнал з датчика вертикальності подається на вхід системи керування для утворення керуючого впливу на об'єкт керування (антенну щоглу).

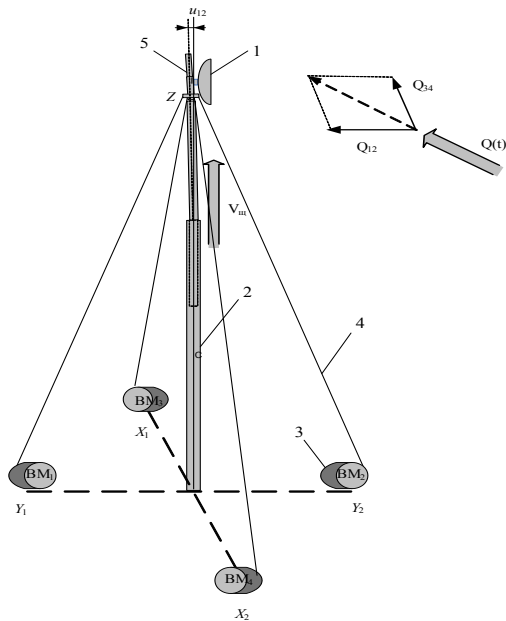


Рис. 1. Схема підйому антени РРС за допомогою антенної щогли

На рис. 2 зображено в розрізі будову розробленого пристрою контролю вертикальності щогли. Він складається з трубчастого корпусу, маятника з вбудованим джерелом монохроматичного випромінювання – напівпровідниковим лазером. Маятник закріплений в кільці гасіння за допомогою шарнірного кріплення. В корпус залита амортизаційна рідина до рівня кільця гасіння коливань, яке має спеціальні отвори гасіння. Лазер та світлочутливе поле утворюють систему вимірювання кутових відхилень пристрою від вертикальної осі. Електричне живлення лазера 3 здійснюється за допомогою витого дроту 4, конструкція якого в вигляді багатовиткового легкого провідника дозволяє усунути його вплив на точність вертикального положення маятника. Прилад настроєний таким чином, щоб вісь маятника точно співпадає з віссю променя лазера. Кільце гасіння коливань 6 з отворами гасіння 7 по його периметру жорстко закріплене в трубчастому корпусі 1 і одночасно є нерухомою частиною шарнірного кріплення в якому вільно повертається рухома частина 5 з маятником 2.

Занурення маятника в амортизаційну рідину дозволяє ліквідувати його вільні коливання. Кільце гасіння коливань дозволяє запобігти утворенню хвилі на поверхні амортизаційної рідини при різких змінах положення пристрою під дією виконавчих механізмів та при дії ударних вітрових навантажень. В цьому випадку замість утворення хвилі на поверхні амортизаційної рідини енергія ударних навантажень втрачається при проходженні амортизаційної рідини через отвори гасіння. Промінь лазера утворює на світлочутливому полі світлову пляму. Світлочутливе поле складається з  $m$ -світлочутливих напівпровідникових сегментів розділених між собою світлонепроникливими перегородками. Внутрішні стінки трубчастого корпусу, поверхні шарнірного кріплення та кільця гасіння коливань вкриті світлопоглинаючим покриттям, для усунення явища відбиття променя лазера від їх поверхонь.

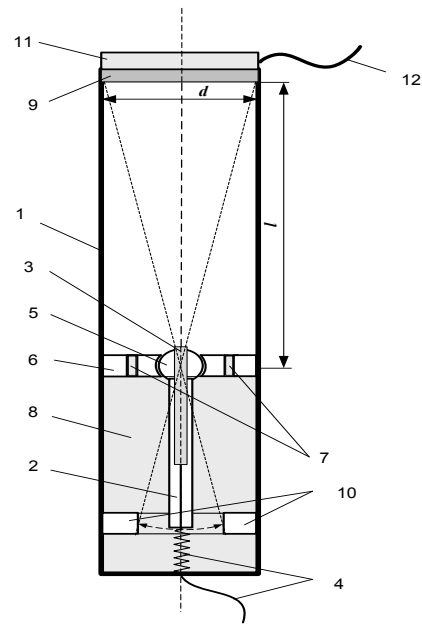


Рис. 2. Будова пристрою контролю вертикальності щогли: 1 – трубчастий корпус; 2 – маятник; 3 – лазер; 4 – дріт живлення; 5 – рухома частина шарнірного кріплення; 6 – кільце гасіння коливань; 7 – отвори гасіння коливань; 8 – амортизаційна рідина; 9 – світлочутливе поле; 10 – кільце обмеження ходу маятника; 11 – кодер; 12 – з'єднувальний кабель

Для початкового встановлення щогли з системи управління подається живлення до пристрою контролю вертикальності щогли. При великих кутах  $\alpha$  відхилення щогли від вертикального положення завдяки кільцю обмеження ходу маятника 10 промінь лазера завжди буде знаходитись в межах світлочутливого поля 9, показуючи при цьому напрямок нахилу щогли в просторі. Тому вісь маятника з лазером не буде в вертикальному положенні (рис. 3, а). Таке положення маятника відповідає розміщенню світлової плями лазерного променя на одному з сегментів крайнього ряду світлочутливого поля. Маючи напрямок нахилу щогли (завдяки інформації про положення плями лазерного променя на одному з сегментів світлочутливого поля) система управління за допомогою виконавчих механізмів введе щоглу в положення близьке до вертикального.

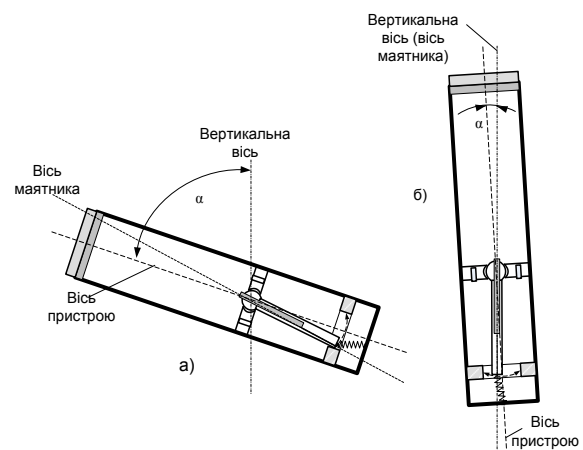


Рис. 3. Робота пристрою при великих (а) та малих (б) кутах відхилення від вертикальної осі

При невеликих кутах  $\alpha$  відхилення осі приладу від строгої вертикалі маятник з лазером завжди має вертикальне положення (рис. 3, б). В цьому випадку проєкціювання променя на світлочутливе поле показує кут відхилення щогли від вертикального положення, тобто помилку вертикальності.

При попаданні променя лазера в один з сегментів світлочутливого поля, номер сегмента кодується в кодері пристрою контролю вертикальності щогли і передається в блок керування, де він використовується після декодування. На основі логічних правил в блоці керування виробляються сигнали управління виконавчими механізмами і проводиться зміна положення щогли, до того часу поки світлова пляма лазерного променя не буде в центральному сегменті світлочутливого поля, тобто точного вертикального положення пристрою (а значить і щогли) при якому помилка вертикальності дорівнює нулю.

Використання оптичної пари (лазер – світлочутливе поле) дозволяє значно підвищити точність встановлення в вертикальне положення щогли за рахунок високої концентрації променя лазера та мініатюрних сегментів світлочутливого поля. А застосування системи пасивного гасіння вільних коливань маятника (амортизаційної рідини та кільця гасіння коливань з отворами гасіння) дозволяє уникнути вільних коливань маятника при початковому встановленні щогли в вертикальне положення та при будь-яких різких рухах щогли спричинених дією виконавчих механізмів чи вітрових навантажень.

Точність налаштування строго вертикального положення пристрою задається на етапі проектування пристрою контролю вертикальності щогли і залежить від лінійних розмірів світлочутливого поля  $d$  та відстані від лазера до світлочутливого поля  $l$  (рис. 1), а також лінійних розмірів світлової плями лазерного променя і розмірів та кількості сегментів світлочутливого поля. Розроблений та спроектований пристрій має куту похибку вертикальності до  $20'$ .

Розроблений ПКВ [7] може бути використаний як для автоматичного так і для ручного розгортання антенної щогли. Використання ПКВ при розгортанні антенної щогли радіорелейної станції вручну скорочує

час розгортання на 16 – 18 %. А застосування ПКВ в складі системи автоматичного керування підйомом антенної щогли дасть змогу скоротити час розгортання РРС на 60 – 70 %.

## Висновки

Таким чином, застосування описаного пристрою підвищує точність та оперативність автоматичного встановлення в вертикальне положення антенних щогл та інших подібних об'єктів в умовах вітрових навантажень. Пристрій контролю вертикальності щогли може бути також використаним для визначення просторового положення (кутів нахилу) свердловин чи будівельних конструкцій, хоча для визначення точного просторового положення необхідно значно збільшувати кількість сегментів світлочутливого поля.

## Список літератури

1. Патент Російської Федерації №2032808 «Устройство для измерения угла наклона скважины», Е 21 В 47/02, 29.11.90.
2. Патент Російської Федерації №2018648 «Устройство для измерения угла наклона скважины», Е 21 В 47/022, 02.04.91.
3. Патент Російської Федерації №2029861 «Устройство для измерения угла наклона скважины», Е 21 В 47/022, 08.10.93.
4. Боровий В.О. Автоматизація геодезичних вимірювань / В.О. Боровий, Л.В. Борисенко, В.Г. Бурачек. – Чернівці: Чернігівські береги. – 2004. – 368 с.
5. Кір'янов Д.В. Модель САУ для підйому антенної щогли в умовах вітрових навантажень на основі нечіткого регулятора / Д.В. Кір'янов // *Радиоелектронні та комп'ютерні системи*. – 2006. – Вип. 7(19). – С. 40-43.
6. Пичугин С.Ф. Ветровая нагрузка на строительные конструкции / С.Ф. Пичугин, А.В. Махынко. – Полтава: АСМИ. – 2005. – 342 с.
7. Патент на винахід №81422 «Пристрій для контролю вертикальності щогли» G01C 9/00, E21B 47/02, 10.01.2008.

Надійшла до редколегії 9.12.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., Р.Г. Савенко, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, Полтава.

## УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМОМ АНТЕННОЙ МАЧТЫ

Д.В. Кирьянов

*Проанализировано известные принципы построения датчиков пространственного положения и разработано устройство контроля вертикальности для системы автоматического управления (САУ) подъёмом антенной мачты в условиях динамических ветровых нагрузок на основе оптического маятника. Исследованы характеристики САУ с предложенным устройством контроля вертикальности мачты по точности и оперативности установки антенной мачты в вертикальное положение.*

**Ключевые слова:** устройство контроля вертикальности, антенная мачта, система автоматического управления, точность установки пространственного положения, динамические ветровые нагрузки.

## SUPERVISORY CIRCUITS OF VERTICAL POSITION FOR AUTOMATIC-CONTROL SYSTEMS RISE OF AN ANTENNA MAST

D.V. Kiryanov

*It is parsed known principles of construction of sensing transducers of attitude and the supervisory circuit of vertical position is developed for an automatic-control system (ACS) by rise of an antenna mast in the conditions of dynamic wind loads. Characteristics of a supervisory ACS circuit of vertical position of a mast on accuracy and efficiency of installation of a verticality are investigated.*

**Keywords:** a vertical position control unit, an antenna mast, automatic control system, accuracy of installation of spatial position, dynamic wind loadings.