

*Василь Вікторович Кузавков (доктор технічних наук, доцент)  
Артур Олександрович Зарубенко*

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут, Київ, Україна*

## ВАРІАНТ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПЛАТФОРМИ АНТЕННОГО ПОЛЯ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ

*В статті запропоновано варіант побудови цифрової системи автоматичної стабілізації платформи антенного поля розташованої на рухомому об'єкті (транспортному засобі) та розглянуто структурні схеми каналів управління. Обґрунтовано вибір виконавчих пристроїв для забезпечення параметрів швидкодії та точності системи. Визначено умови використання, обмеження та вихідні дані необхідні для синтезу системи автоматичної стабілізації та висвітлено принципи обчислення системою координат положення платформи антенного поля в просторі.*

*Передумовами застосування платформи зі стабілізацією на рухомому об'єкті є необхідність забезпечення максимально ефективного використання засобів зв'язку (антенних систем) в складній електромагнітній обстановці та зменшення часу розгортання (згортання) і налаштування засобів радіо- та супутникового зв'язку в оперативно-тактичній та тактичній ланках управління.*

*Система автоматичної стабілізації платформи антенного поля забезпечить оптимальні умови функціонування антенних систем радіоелектронних засобів компактного угруповання, які входять до складу антенного поля. Під оптимальними умовами слід розуміти – вертикальне розміщення всенаправлених антен, можливість зміни положення направлених антен в азимутальній площині та забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів. Числове значення відхилення платформи від необхідних кутів положень опорної системи координат може бути визначено акселерометрами або іншими пристроями, які вимірюють лінійні прискорення об'єкту у заданій площині.*

*Стабілізацію платформи запропоновано здійснювати за двома каналами (для кожної з осей). Кутове положення стабілізуємої платформи в просторі задане в опорній системі координат. Опорна система координат не пов'язана з рухомих об'єктом (транспортним засобом), що рухається (рухома система координат). В якості опорної системи координат запропоновано використати інерціальну систему координат, тобто нерухому відносно горизонту.*

*Запропонована автоматична система – універсальна, з можливістю адаптації під ходові та габаритні властивості рухомого об'єкту. Адаптивність забезпечується наявністю в контурі управління системи автоматичної стабілізації ланцюгів, параметри передаточних функцій яких заздалегідь розраховані під тактико-технічні характеристики рухомого об'єкту.*

**Ключові слова:** *система автоматичної стабілізації; антенне поле; система координат; виконавчий пристрій; платформа; швидкість; прискорення; точність*

### Вступ

Засоби радіозв'язку (ЗРЗ) застосовуються в усіх ланках управління військами. Вони є основними, а у багатьох випадках єдиними засобами, здатними забезпечувати управління в найскладнішій обстановці: при знаходженні командного складу в русі або під час переміщення вузлів зв'язку та пунктів управління, під час проведення наступальної операції.

У тактичній ланці управління зв'язок найчастіше організовується по радіомережах різних частотних діапазонів. Крім того, для організації радіозв'язку з підрозділами (групами), що виконують найбільш відповідальні завдання, створюються окремі радіонапрями. Таким чином,

станції, які призначені для забезпечення радіозв'язку мають в своєму складі різноманітні приймально-передавальні пристрої, які слід розглядати з точки зору експлуатації, як компактне угруповання. Вони характеризуються значною кількістю різних за призначенням (направлені, всенаправлені) та формою (апертурні та антени з лінійними струмами) антен, розміщених в обмеженому просторі.

Як до системи зв'язку (СЗ) в цілому так і до мереж, ліній та елементів, які призначені для організації радіозв'язку – висувається низка вимог. Однією з них є мобільність (здатність СЗ або її елементу розгортатися в установлені терміни, змінювати топологію і можливості відповідно до умов обстановки).

Шляхи досягнення висунутих вимог можливо розділити на дві групи: організаційні та технічні. Організаційні реалізуються шляхом постійного тренування та цілеспрямованою підготовкою особового складу. Серед технічних, необхідно виділити способи використання засобів автоматизації та механізації робіт під час розгортання (згорання) вузлів, станцій та ліній зв'язку.

**Постановка проблеми.** Для забезпечення вимоги по мобільності радіозв'язку особовий склад екіпажів, повинні мати необхідні спроможності направлені на швидке розгортання (згорання), в першу чергу, антен та антенно-щоглових пристроїв, а також за можливістю їх розносу в просторі, з метою ефективного їх використання та забезпечення електромагнітної сумісності. Слід зазначити, що під час руху використання ЗРЗ має низку обмежень. Серед основних слід виділити: неможливість забезпечити супутниковий зв'язок, обмежені можливості засобів УКХ діапазону. Тому, під час переміщень підрозділів, пунктів управління виникає критична ситуація, яка характеризується неможливістю забезпечити повноцінне управління військами (силами) під час здійснення маршруту та створює умови для використання засобів стільникового зв'язку, які не гарантують забезпечення збереження інформації та не є автономними телекомунікаційними засобами, оскільки повністю залежать від технічного стану стільника в якому перебуває абонент. В даному випадку радіозв'язок реалізує лише можливість здійснювати управління колоною на маршруті. У зв'язку з цим, застосування засобів автоматизації, які забезпечать можливість ефективною експлуатації ЗРЗ під час руху та зменшать час при розгортанні (згоранні) станцій радіозв'язку є важливою задачею, вирішення якої – забезпечить мобільність елементів СЗ. Актуальність дослідження полягає в необхідності вирішення задачі мінімізації часу розгортання та згорання сукупності ЗРЗ (антенних систем) локально розміщених на рухомому об'єкті (РО), а також забезпечення спільної їх експлуатації під час руху [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В результаті проведеного аналізу використання сучасних систем військового зв'язку встановлено, що під час застосування систем радіо- та супутникового зв'язку в районі проведення операції Об'єднаних сил існують проблемні питання пов'язані з часовими обмеженнями (мобільністю) при експлуатації антенних систем (АС) ЗРЗ (розгортання та згорання), а також вирішення задачі сумісного їх використання (електромагнітної сумісності) при компактному розміщенні (на одному об'єкті).

Варіантом розв'язання існуючих протиріч при застосуванні різноманітних засобів радіозв'язку є використання системи автоматичної стабілізації

(САС) платформою антенного поля (АП) встановленої на РО. Використання зазначеної САС забезпечить необхідну швидкодію під час експлуатації на позиції (статичний режим) та точність під час руху (динамічний режим).

Широке застосування систем радіо- та супутникового зв'язку обумовлене їх надійністю, ефективністю та простотою використання [2, 3]. Збільшення кількості та різноманіття компактно розташованих радіосистем викликає певні ускладнення при розміщенні та налаштуванні. Підвищення статичної та, особливо, динамічної точності САС при будь-яких просторових переміщеннях РО є пріоритетним завданням.

Можливий шлях вирішення зазначених протиріч – розробка структури такої САС і вибір відповідних виконавчих пристроїв (ВП), які дозволять одночасно забезпечити швидкодію, точність та якість управління об'єктом. Структурним способом підвищення точності і швидкодії при збереженні необхідних силових впливів на об'єкт управління є реалізація ітераційного принципу функціональної взаємодії кількох автономних каналів управління ВП, одночасно (або послідовно) уточнюючих закон управління АП [4 – 11].

**Метою статті** є розробка структури САС платформи АП розміщеної на РО, яка забезпечить виконання вимог мобільності та ефективності експлуатації ЗРЗ, як на місці так і під час руху. Антени ЗРЗ розміщенні на платформі таким способом, що виконуються умови електромагнітної сумісності [12]. Якість налаштування антен ЗРЗ контролюється автоматичною системою з мінімальним втручанням особового складу. Реалізація запропонованого підходу можлива, як на існуючих РО так і на перспективних зразках озброєння.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Система автоматичної стабілізації платформи АП повинна володіти якостями, які визначаються критерієм оптимальності (при певних обмеженнях). При досягненні зазначеного критерію можуть бути створені системи оптимальні с точки зору швидкодії (мінімуму часу переходу з одного стану в інший), чи точності (мінімум деякої прийнятої оцінки точності системи).

Технічне завдання на етапі проектування включає в себе низку вихідних даних: відомості про принцип дії системи, геометрія і кінематика системи стабілізації, існуючі швидкості і прискорення, які виникають під час її експлуатації, збурені впливи, приведення навантажувальних моментів інерції до осей стабілізації, її функціональна схема, параметри ланок САС, показники якості проектною системою.

Виходячи з мети дослідження, САС повинна функціонувати в статичному та динамічному режимах роботи. Розглянемо вимоги, які висуваються до цих режимів: статичний – швидкодія, динамічний – точність. Забезпечення швидкодії можливе через синтез такої структури САС, параметри, якої забезпечать мінімум середньоквадратичної помилки системи при одночасній дії на її вході корисного сигналу та завади в статичному режимі. При вирішенні задачі точності, структура САС вже задана, а мінімізація прийнятого функціоналу досягається шляхом оптимального вибору параметрів системи.

Крім вимог по точності та швидкодії, до САС можуть застосовуватися інші умови пов'язані з такими її властивостями, як габарити, маса, надійність, простота налаштування та обслуговування. У зв'язку з цим, за допомогою того чи іншого виду функціоналу можливо описати невелику частину тих вимог, які необхідно виконати при створенні нової САС. При проектуванні САС, за відсутності вирішення питань оптимального синтезу – може призвести до вибору незадовільної структури системи та до гіпертрофірування одних її властивостей відносно інших. Аналіз [4 – 11] показує, що найбільш вигідним є утримання ряду їх якісних показників в допустимих межах. Це дозволяє створювати системи, які задовольняють комплекс вимог.

Структура проектної САС визначається низкою технічних умов. Серед них можна виділити: необхідна кінематика системи стабілізатора, тип акселерометра, вид ВП та спосіб його дії, вплив збурених впливів, вид РО на якому встановлена САС. В роботі зупинимось на обґрунтуванні структури САС і виборі відповідного ВП – швидкодія і точність яких буде задовольняти вимоги визначені режимами роботи даної системи.

Структурні методи забезпечення точності САС в багатьох випадках є досить ефективними. Вони дозволяють визначити загальну структуру, а отже і алгоритм функціонування проектної системи. Практичною реалізацією є застосування багатоканальних систем, що працюють за принципом грубого і точного управління [4, 5]. При такому підході відбувається функціональна взаємодія окремих автономних каналів, які одночасно або послідовно (за часом) корегують закон управління відповідно до траєкторії РО.

Система автоматичної стабілізації платформи АП встановленої на РО призначена для утримання платформи в горизонтальному положенні, а також направлення антени супутникового зв'язку (АСЗ) на заданий азимут, як під час руху так і на місці. Під АП слід розуміти компактне угруповання антен розміщення, яких обмежено простором (розмірами платформи).

Різні умови бойової обстановки (робота під час руху або на місці) вимагають застосування гнучких методів управління системою, зміни

швидкості повороту, зупинки АСЗ на заданому напрямку або почергова зміна напрямку роботи. У зв'язку з цим САС повинна забезпечувати наступні режими роботи:

- рух АП за азимутом із заданою швидкістю (в залежності від збуреного впливу);
- встановлення АСЗ на заданий азимут;
- стабілізацію платформи АП в залежності від кутів нахилу РО.

Стабілізація платформи АП в залежності від кутів нахилу – основний режим роботи САС, як в русі так і на місці. Головними параметрами цього режиму є швидкість та точність під час руху РО.

Систему, яка забезпечує ці параметри, можна класифікувати за двома ознаками:

- за схемою побудови контуру управління;
- за типом виконавчого пристрою (двигуна).

Контур управління САС може бути розімкнutoго, замкнутого, комбінованого і слідкуючого типів [2 – 11]. Отже, для забезпечення зазначених вище режимів роботи САС, необхідно використовувати слідкуючі багатоканальні системи побудовані за ітераційним принципом.

Зв'язок між технічними вимогами, що пред'являються до САС і технічними параметрами платформи АП обумовлений факторами і умовами її функціонування. Важливе значення має стійкість (інваріантність) САС до збурених (зовнішніх) впливів.

Основними видами збурених (зовнішніх) впливів є: вітрові навантаження на АСЗ, конвекція повітря, зміна температури навколишнього середовища, зміна в'язкості мастил в редукторах обертових пристроїв (сухе тертя). Окремо слід зазначити – тряску і розгойдування, які виникають під час руху [14 – 15]. Ці впливи призводять до зниження точності роботи системи в цілому. Вимоги стійкості до зовнішніх впливів визначають комплексний підхід до вибору відповідної САС і типу ВП. Розрахунок моделі впливу повітряних мас, з урахуванням аеродинамічних і теплових характеристик навколишнього середовища на АСЗ і елементи кріплення під різними кутами атаки, дав можливість оцінити вплив статичної та динамічної складових [16, 17]. Результати розрахунку дозволили визначити необхідний варіант встановлення і спосіб кріплення АСЗ до платформи, що на етапі проектування дозволило, не тільки враховувати вплив повітряних мас на АСЗ, а й зменшити його [18].

Технічна реалізація запропонованої платформи складається з опису механічної частини та структури САС.

Встановлення платформи на РО виконано за допомогою механізму, який нагадує кардановий підвіс [19]. Сам механізм дозволяє платформі змінювати своє положення одночасно в декількох площинах, тобто платформа буде зберігати необхідне положення незалежно від просторової орієнтації самого РО та збурених впливів

(поштовхів, тряски, вітрового навантаження та вібрації).

Механізм складається з сукупності поворотних кілець з'єднаних осями, які перетинаються в

спільній точці (центр платформи). Якщо розміри платформи за шириною та довжиною – однакові, то таку конструкцію (платформу), можливо представити, як двовісний підвіс (рис. 1).

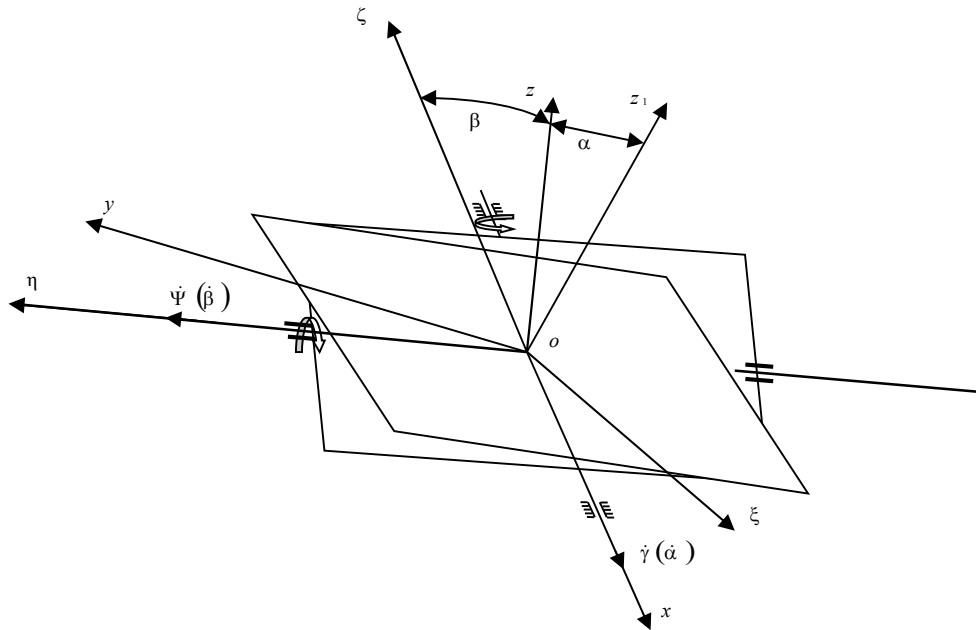


Рис 1. Двовісний підвіс (платформа)

Одна вісь знаходиться в площині горизонту (вздовж РО в напрямку руху), друга перпендикулярна їй. Юстування по азимуту АСЗ здійснюється в результаті повороту всієї платформи. Виходячи з викладених принципів, концепція механічної конструкції представлена на рис. 2, детально принцип роботи конструкції наведено в [13, 21]. Кутові швидкості та прискорення при переміщенні платформи визначають можливу точність системи стабілізації.

до поперечної площини РО, а вісь  $O\eta$  лежить в напрямку руху об'єкта (рис. 2). Осі  $Ox$  та  $O\eta$  регулюються окремими не пов'язаними між собою механізмами повороту. З платформою, на якій встановлені антени, жорстко зв'язана система координат  $O\xi\zeta\eta$  (нерухома). При чому вісь  $O\zeta$  спрямована до зеніту. Зазначена система координат отримана з системи координат  $Oxyz$  (рухома). Перехід між системами координат здійснюється в два етапи.

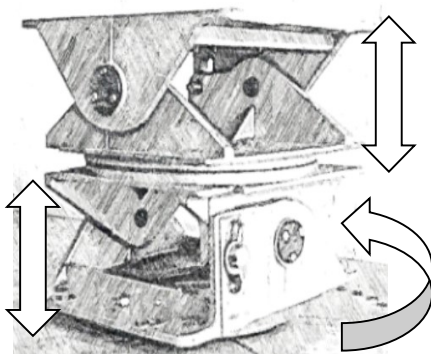


Рис 2. Механічна конструкція пристрою стабілізації АП

Варіант розміщення різнотипних антен на платформі зображено на рис. 3 (а – АСЗ; б – штирові антени).

Розглянемо математичний опис швидкості і прискорення в САС при різних режимах роботи.

Платформу встановлено на двовісний підвіс – конструкції з двома осями (вісь  $Ox$  направлена

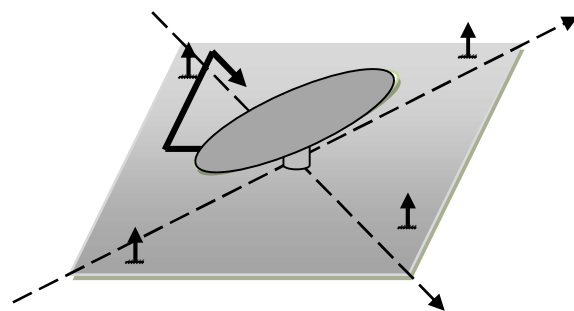


Рис 3. Платформа антенного поля

Етап перший – зміна положення на кут  $\alpha$  навколо осі  $Ox$ , тобто після відпрацювання ВП, переводить систему  $Oxyz$  в систему  $Oxz_1\eta$ .

Етап другий – поворот на кут  $\beta$  навколо осі  $O\eta$ , після відпрацювання другого ВП, створює координатну систему  $O\xi\zeta\eta$ . В наслідок

виконання обох етапів платформа приймає горизонтальне положення.

Вказані напрямлення осей системи  $O\xi\zeta\eta$  будуть зберігатися завдяки роботі САС при відпрацюванні зовнішніх збурень (поштовхів, тряски). При цьому горизонтальне положення визначається в опорній системі координат кутами  $\alpha$  і  $\beta$ .

Швидкості відпрацювання механізму кутів  $\alpha$  і  $\beta$  визначаються виразами:

$$\Omega_{o\xi} + \Omega_{k\xi} = 0;$$

$$\Omega_{o\eta} + \Omega_{k\eta} = 0,$$

де  $\Omega_{o\xi}, \Omega_{o\eta}$  – проекції швидкостей обертання механізмів на вісі  $O\xi$  і  $O\eta$ , а  $\Omega_{k\xi}, \Omega_{k\eta}$  – проекції швидкостей поштовхів та тряски об'єкта на ті ж вісі.

При виконанні цих умов платформа прийме горизонтальне положення, а антени будуть розміщені перпендикулярно до поверхні землі.

Проекції швидкостей обертання дорівнюють:

$$\Omega_{o\xi} = \dot{\alpha}\cos(\xi, \xi) + \dot{\beta}\cos(\xi, y);$$

$$\Omega_{o\eta} = \dot{\alpha}\cos(\eta, \xi) + \dot{\beta}\cos(\eta, y).$$

Проекції швидкостей поштовхів та тряски об'єкта  $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$  навколо осей  $O_x, O_y, O_z$  на осі  $O\xi$  і  $O\eta$  дорівнює:

$$\Omega_{k\xi} = \Omega_x \cos(\xi, x) + \Omega_z \cos(\xi, z) + \Omega_y \cos(\xi, y);$$

$$\Omega_{k\eta} = \Omega_x \cos(\eta, x) + \Omega_z \cos(\eta, z) + \Omega_y \cos(\eta, y);$$

Косинуси кутів між осями рухомої системи координат і осями  $O\xi$  і  $O\eta$ , перпендикулярними до горизонту, простіше отримати, як відповідні елементи матриці, перетворюючої систему  $Oxyz$  в систему  $O\xi\zeta\eta$ .

Таблиця 1

Таблиця перерахунку кутів

№ з/п	Осі механізму стабілізації	$O_x$	$O_y$	$O_z$
1	$O\xi$	$\cos\beta$	$\cos\alpha\sin\beta$	$\sin\alpha\sin\beta$
2	$O\eta$	0	$-\sin\alpha$	$\cos\alpha$

Швидкості обертання механізмів системи стабілізації платформи будуть дорівнювати:

$$\dot{\alpha} = -\Omega_x - \Omega_y \cos\alpha \operatorname{tg}\beta - \Omega_z \sin\alpha \operatorname{tg}\beta;$$

$$\dot{\beta} = \Omega_y \sin\alpha - \Omega_z \cos\alpha.$$

Прискорення обертання:

$$\ddot{\alpha} = -\dot{\Omega}_x - \dot{\Omega}_y \cos\alpha \operatorname{tg}\beta - \dot{\Omega}_z \sin\alpha \operatorname{tg}\beta;$$

$$\ddot{\beta} = \dot{\Omega}_y \sin\alpha - \dot{\Omega}_z \cos\alpha.$$

Швидкості і прискорення по двом осям  $\alpha, \beta$  та  $\beta, \dot{\beta}$  не перевищують швидкості та прискорення поштовхів і тряски. Вони прямують до нескінченності при  $\alpha \rightarrow 90^\circ, \beta \rightarrow 90^\circ$ , при максимально можливих умовах розміщення об'єкта на ідеально рівній (горизонтальній) поверхні.

Умови функціонування САС залежать від моментів інерції і навантажувальних моментів, тобто нерухомих осей, пов'язаних з платформою, яка стабілізується. Знаючи швидкості і прискорення механізмів САС, знайдемо приведення навантажувальних моментів і моментів інерції до осей стабілізації.

Ці величини є функціями нахилу, поштовхів і тряски, оскільки кути між осями механізму стабілізації і самими осями стабілізації залежать від кутів нахилу. При цьому від них залежать передаточні числа між кожною із осей стабілізації платформи і осями самого механізму. Відповідно, залежними від кутів нахилу є також приведені до осей стабілізації – моменти інерції ВП системи, моменти тертя та інші навантажувальні моменти, що діють відносно осей механізму стабілізації та приведені до осей платформи. Передаточні числа можуть бути знайдені, як відношення відповідних швидкостей обертання і нахилу.

Вказані вище навантажувальні моменти і моменти інерції необхідно враховувати при розрахунку (синтезі) САС, так, як вони можуть викликати недопустиме збільшення моменту помилок стабілізації і навіть привести до порушення умов стійкості замкнутої системи по відповідним осям.

Розглянемо приведені до нерухомих осей навантажувальні моменти і моменти інерції до осей  $O\xi$  і  $O\eta$ , що пов'язані з нерухомою платформою (рис. 2). При визначенні відношень між кутовими швидкостями будемо вважати, що платформа нерухома, а об'єкт змінює своє положення в просторі. При стабілізації платформи швидкості  $\Omega_\xi$  і  $\Omega_\eta$  спрямовані по осям  $O\xi$  і  $O\eta$  повинні дорівнювати нулю. Це можливо при здійсненні поворотів по зазначеним осям зі швидкостями  $\dot{\alpha}$  та  $\dot{\beta}$ , при чому:

$$\left. \begin{aligned} \Omega_\xi &= \dot{\alpha}\cos(\xi, \xi) + \dot{\beta}\cos(\xi, y) \\ \Omega_\eta &= \dot{\alpha}\cos(\eta, \xi) + \dot{\beta}\cos(\eta, y) \end{aligned} \right\}$$

Підставляємо в систему рівнянь, в якості направляючих косинусів відповідні елементи матриці,

$$A_\psi = \begin{vmatrix} \cos\psi \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$A_\gamma = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & \sin\gamma \\ 0 & -\sin\gamma & \cos\gamma \end{pmatrix};$$

$$A_\theta = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix};$$

знайдено:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \Omega_\xi \frac{1}{\cos\beta} \\ \beta &= \Omega_\eta \end{aligned} \right\}$$

За вказаними відношеннями складено табл. 2.

Таблиця 2

№ з/п	Осі механізму стабілізації	Осі зв'язані з платформою	
		О $\xi$	О $\eta$
1	О $x$	$\frac{1}{\cos\beta}$	0
2	О $\eta$	0	1

Звідси моменти інерції системи стабілізації відносно нерухомих (опорних) осей О $\xi$  і О $\eta$  дорівнюють:

$$\begin{aligned} J_\eta &= A_\eta; \\ J_\xi &= A_\xi + J_\beta \frac{1}{\cos^2\beta}, \end{aligned}$$

де  $A_\xi$  – момент інерції платформи відносно осі О $\xi$ , з врахуванням моментів інерції ВП та решти елементів механізму повороту навколо цієї осі;  $A_\eta$  – момент інерції платформи навколо осі О $\eta$ ;  $J_\beta$  – момент інерції механізму повороту відносно осі О $x$ , з врахуванням всіх елементів, що приймають участь в обертанні навколо осі.

Навантажувальні моменти, які діють на платформу відносно її осей стабілізації, мають вид:

$$\begin{aligned} M_\eta &= M_{пл\eta}; \\ M_\xi &= M_{пл\xi} + M_\beta \frac{1}{\cos^2\beta}, \end{aligned}$$

де  $M_{пл\eta}$  і  $M_{пл\xi}$  – навантажувальні моменти, які діють безпосередньо на платформу відносно її осей стабілізації;  $M_\beta$  – момент горизонтування (ортогональності антени відносно горизонту).

Структура та параметри САС визначаються завданими показниками (точністю) роботи. При цьому критерії оцінки точності можуть бути різними. Іноді критеріями оцінки точності можуть бути деякі інтегральні величини, наприклад:

$$\int_0^n \sum_{i=0}^n \left( C_i \frac{d^i a}{dt^i} \right)^2 dt,$$

де  $a$  – відхилення платформи від заданого кутового положення (опорної системи координат), а  $C$  – коефіцієнти.

Даний критерій є прийнятним, як для оцінки точності юстування АСЗ по азимуту так і для горизонтування самої платформи.

При формуванні вимог по точності, основну увагу необхідно звернути на максимально припустиму помилку. На основі допустимої величини помилки встановлюються необхідні динамічні характеристики САС. При заданій або частково заданій його структурі це приводить до визначення коефіцієнтів передачі в САС (окремих її ланках), а також до визначення необхідних динамічних характеристик ланок корегування.

В статті розглядаються лише ті види помилок які залежать від динамічних властивостей замкнутої системи. Збурення, що виникають в системі в результаті впливу на неї помилок чутливих елементів стабілізатора, нестабільність параметрів окремих елементів, відхиленням акселерометра – є постійними чи повільно змінюваними. Частоти цих збурень на декілька порядків менші частот тряски, поштовхів та вібрацій РО під час руху і тому можуть викликати лише повільні відхилення платформи від опорної системи координат. На ці повільні відхилення платформи накладаються порівняно швидкі її переміщення с частотами качки і власних коливань системи, з більшими амплітудами, що обумовлені зовнішніми збуреннями на осях стабілізації. Тому саме це збурення є визначаючим при формуванні вимог до динамічних характеристик проектної САС.

Виходячи з сказаного, структура САС складається з двох відокремлених підсистем:

- підсистема (канал управління) горизонтування (стабілізації платформи в горизонтальній площині);
- підсистема юстування – канал налаштування в азимутальній площині (стеження).

Юстування платформи (АСЗ) на заданий азимут відбувається з певною точністю. Точність налаштування визначається характеристиками діаграми направленості антени та чутливістю приймального пристрою. Завдання такої підсистеми – управління поворотом антени з метою усунення розходження між напрямком руху РО та кутом розташування геостаціонарного супутника за азимутом.

Пропонується варіант будови слідкуючої системи яка складається з сельсин-датчика (СД) і сельсин-приймача (СП). Якщо порівнювати, то сельсини пари переважають, за показниками простоти, надійності та ремонтпридатності – системи з енкодерами (системи індукційного зв'язку).

Система автоматичної стабілізації повинна забезпечувати можливість, як ручного так і автоматичного управління та містить канали грубого (ГВ) і точного (ТВ) відліків. Для відстеження заданого азимута не потрібні великі потужності, тому необхідність застосування підсилювачів (електромеханічні, пневматичні і гідравлічні) відсутня. Варіант такої системи наведено на рис. 4.

Залежно від режиму роботи, напруга неузгодженості, задана сельсину, через перемикач

каналів ГВ–ТВ подається на дискримінатор (вимір величини і напрямку неузгодженості). Підсилення сигналу помилки системи здійснюється декількома каскадами підсилення. Основне підсилення за проектною потужністю здійснюється електромеханічним підсилювачем, вихідний сигнал якого подається на живлення якоря виконавчого двигуна, який через редуктор обертає антену в напрямку зменшення кута неузгодженості, а також встановлює СП в положення, що узгоджене з СД.

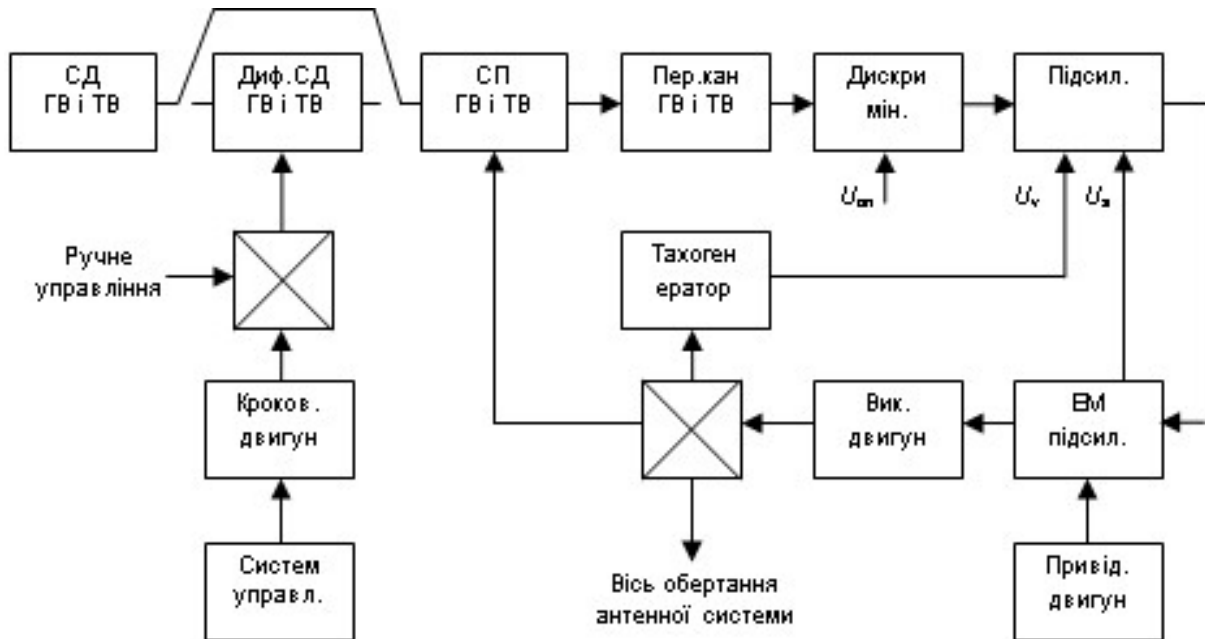


Рис.4. Система замкнутого типу з виконавчим двигуном постійного струму

Якщо в розрив СД–СП включений диференційний сельсин, то зміна положення його ротора за програмою малопотужної підсистеми управління призведе до програмного відпрацювання сигналу неузгодженості на виході СП. Для підвищення точності відпрацювання система виконується двоканальною з перемиканням на канал ТВ після відпрацювання сигналу помилки каналом ГВ. Для покращення стійкості системи охоплюється зворотними зв'язками по швидкості і прискоренню.

Варіант структури другого каналу (підсистеми стабілізації (горизонтування) наведено на рис. 5.

Гідросиловий ВП представляє собою пару мотор-насос з регульованою продуктивністю. Залежно від кількості прокачувань рідини в одиницю часу, змінюється швидкість обертання гідродвигуна.

Принцип роботи системи розглянуто на прикладі ГН з двома регулюючими клапанами. Двигун М1 через редуктор обертає ротор СД. Посилена напруга неузгодженості з сельсин-трансформатора надходить на двигун М2, який управляє регулятором продуктивності гідронасоса (ГН).

У початковому стані продуктивність ГН

дорівнює нулю, двигун М3 працює на холостому ході. Під дією сигналу помилки з М2 регулятор встановлює деяку швидкість прокачування рідини, що приводить в обертання вал гідромотора і, через редуктор, механізм стабілізації однієї вісі. Аналогічно для іншої вісі. Одночасно повертається і ротор сельсин-трансформатора, що призводить до зниження напруги неузгодженості до величини нечутливості в системі та встановлення регулятора продуктивності в фіксоване положення.

Для стабілізації роботи системи використовується зворотній зв'язок по швидкості за допомогою диференціального механізму, вихідний вал якого обертає за допомогою синхронного двигуна М4 тахогенератор ТГ2, і зворотній зв'язок щодо прискорення з тахогенератора ТГ1.

У режимі ручного управління двигун М1 з редуктором в зчеплення не входить, а положення СД задається ручкою ручного управління. Як правило гідросилові ВП, що використовуються в системах мають дві-три швидкості роботи і для підвищення точності, також виконуються двоканальними.

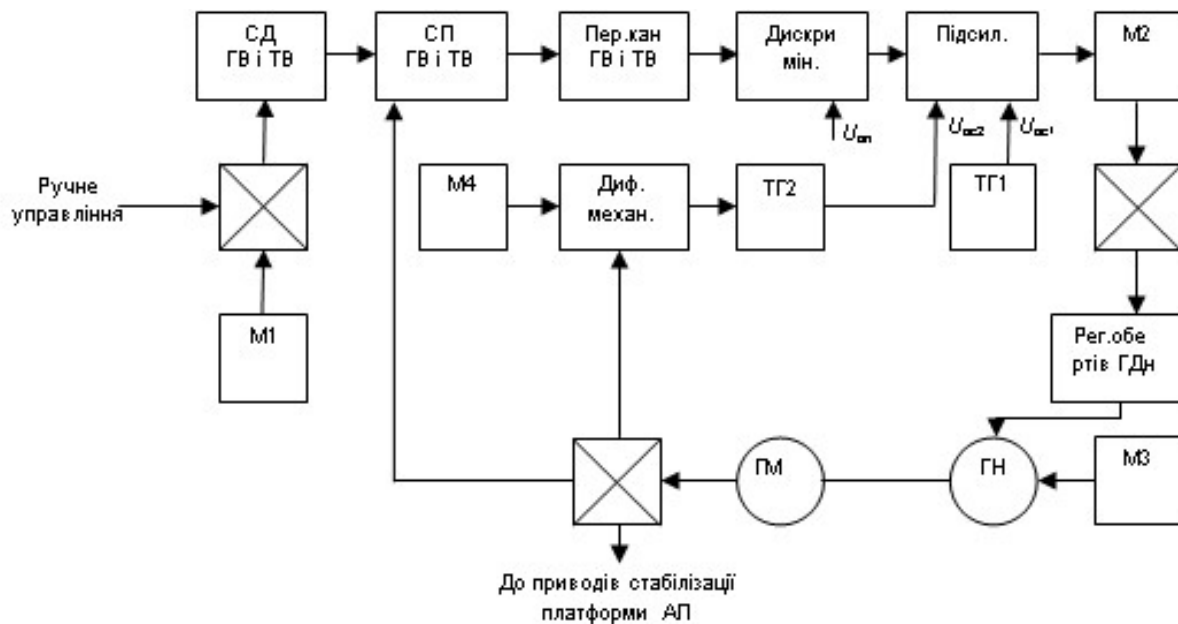


Рис.5. Система замкнутого типу з гідросиловим виконавчим пристроєм

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Результати дослідження показують, що багатоканальні системи, побудовані по ітераційному принципу, дозволяють забезпечити необхідні швидкодюю і точність будь-яких спеціальних механізмів і об'єктів, в тому числі при

значних моментах інерційних навантажень і наявності збурених впливів в каналах управління. Обґрунтовано структуру САС платформи АП і вибір електромеханічного та гідросилового ВП.

Отримані результати використані при синтезі САС із заданими режимами роботи, для виконання вимог по точності та швидкодії системи.

### Література

1. Кузавков В.В., Зарубенко А.О. Варіант будови системи стабілізації антенного поля на транспортному засобі. Науковий журнал// Інформаційна безпека: Северодонець, Вип. 3(31), 4(32), 2018 – с. 81-86.
2. Спутниковая связь и вещание/ Под ред. Л.Я. Кантора // Справочник. - 2 изд., перераб. и доп. - М. Радио и связь - 1988.
3. Бородич С.В. ЭМС наземных и космических радиослужб// М: Радио и связь, - 1990.Одесса: УГАС, 1996. – с. 30–63.
4. Ка-революция в спутниковом ШПД //Журнал "Технологии и средства связи" №2, 2011, с.64-70.
5. Зайцев Г.Ф. Комбинированные следящие системы. – К.: Техніка, 1978.
6. Г.Ф.Зайцев, В.К.Стеклов, О.І.Брицький. Теорія автоматичного управління. – К.: Техніка, 2002.
7. Осмоловский П.Ф. Комбинированные измерительные следящие системы // Под ред. В.С. Кулебакина и Б.Н. Петрова. – М.: Наука, 1964.
8. Александров Е.Е. Оптимизация многоканальных систем управления / Е.Е. Александров, Ю.Т. Костенко, Б.И. Кузнецов. – Харьков: Основа, 1996.
9. Кухтенко А.И. Проблема инвариантности в автоматике / А.И. Кухтенко. – К.: Гос. изд-во техн. лит-ры УССР, 1963.
10. Е.С. Блейз, Ю.Н. Семенов, Б.К. Чемоданов. Динамика электромашинных следящих систем /. – М.: Энергия, 1967.
11. Осмоловский П.Ф. Итерационные многоканальные системы автоматического управления. – М.: Сов. радио, 1969.
12. Мееров М.В. Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит-ры, 1967.
13. Зарубенко А.О. Методика оцінки електромагнітної

- смисливості засобів радіозв'язку за критерієм допустимої ширини смуг блокування взаємними завадами. Науковий журнал// Збірник наукових праць//ВІПІ Вип.4, 2018 с.45-53.
14. Кузавков В.В., Зарубенко А.О. Методика обчислення координат платформи системи автоматичної стабілізації антенного поля рухомого об'єкту// ДНДІ МВС Науковий збірник «Сучасна спеціальна техніка» №2 (57) 2019, с. 40-50.
15. Зарубенко А.О. Варіант будови системи стабілізації антенного поля на транспортному засобі// Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності»/ НА СВ 2018/ м.Львів/ Тези стор. 115
16. Зарубенко А.О. Аналіз експлуатаційних характеристик транспортних засобів військового призначення для синтезу автоматичної системи стабілізації антенного поля// Збірник наукових праць XI науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки розвитку телек. систем»/ ВІПІ 2018/ м.Київ/ Тези стор.107-108.
17. Кузавков В.В., Зарубенко А.О. Оцінка вітрового навантаження на антену конструкцію // Київ: Збірник наукових праць/ Науково-дослідний інститут ГУР МОУ Вип. 44, 2017, с. 94-101.
18. Зарубенко А.О. Модель розрахунку впливу повітряних мас на антенну систему// Збірник наукових праць/ ЦНДІ ОВТ ЗСУ: Київ, Вип. 4 (36), 2019.
19. Кузавков В.В., Зарубенко А.О. Оцінка можливості зміни конструктиву встановлення та налаштування антен супутникового зв'язку// Збірник наукових праць/Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист: Київ, ДУ ІГНС НАН України, Вип. 1(7), 2017,



стор. 69-74. 20. Бесекерский В.А., Фабрикант Е.А. Инерциальные системы управления. Под ред. Динамический синтез систем гироскопической Д. Питтмана. М. Воениздат, 1964. стабилизации. Ленинград. Судостроение, 1968. 21.

## ВАРИАНТ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАТФОРМЫ АНТЕННОГО ПОЛЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

*Василий Викторович Кузавков (доктор технических наук, доцент)  
Артур Александрович Зарубенко*

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации имени Героев Крут, Киев, Украина*

*В статье предложен вариант построения цифровой системы автоматической стабилизации платформы антенного поля расположенной на объекте (транспортном средстве), а также рассмотрены структурные схемы каналов управления. Обоснован выбор исполнительных устройств для обеспечения параметров быстродействия и точности системы. Определены условия использования, ограничения и исходные данные необходимы для синтеза системы автоматической стабилизации, освещены принципы исчисления системой – координат положения платформы антенного поля в пространстве.*

*Предпосылками применения платформы со стабилизацией на объекте является необходимость обеспечения максимально эффективного использования средств связи (антенных систем) в сложной электромагнитной обстановке и уменьшения времени развёртывания (свёртывания), настройки средств радио- и спутниковой связи в оперативно-тактическом и тактическом звеньях управления.*

*Система автоматической стабилизации платформы антенного поля обеспечит оптимальные условия взаимодействия антенных систем, входящих в состав антенного поля радиоэлектронных средств компактного группировки. Под оптимальными условиями следует понимать - вертикальное размещение всенаправленных антенн, возможность изменения положения направленных антенн в азимутальной плоскости и обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Значение отклонения платформы от необходимых угловых положений опорной системы координат может быть определено акселерометрами или другими устройствами, которые измеряют линейные ускорения объекта в заданной плоскости.*

*Стабилизацию платформы предложено осуществлять по двум каналам для каждой из осей. Угловое положение стабилизируемой платформы в пространстве задано в опорной системе координат, которая не связана с подвижным объектом (транспортным средством) который движется, а в подвижной системе координат – жёстко связанная с этим объектом. В качестве опорной системы координат предложено использовать – инерциальную систему координат, то есть неподвижную относительно горизонта, которая ориентирована в данной точке земной поверхности. Предложенная автоматическая система – универсальная, с возможностью адаптации под ходовые качества движущегося объекта. Адаптивность обеспечивается наличием в контуре управления системы автоматической стабилизации цепей, параметры передаточных функций которых заранее рассчитаны под тактико-технические характеристики подвижного объекта.*

**Ключевые слова:** *система автоматической стабилизации; антенное поле; система координат; исполнительное устройство; платформа; скорость; ускорение; точность.*

## OPTION OF THE STRUCTURE OF THE AUTOMATIC STABILIZATION OF THE PLATFORM ANTENNA FIELD OF A MOBILE OBJECT

*Vasily Kuzavkov (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor)  
Arthur Zarubenko*

*Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Heroes Krut, Kiev, Ukraine*

*The article proposes a variant of constructing a digital system for automatic stabilization of the antenna field platform located on an object (vehicle), and also considers the structural diagrams of control channels. The choice of executive devices to ensure the performance and accuracy of the system is substantiated. The conditions of use, restrictions and initial data necessary for the synthesis of the automatic stabilization system are determined, the principles of calculating by the system - the coordinates of the position of the antenna field platform in space - are highlighted.*

*The prerequisites for the use of a platform with stabilization at the facility is the need to ensure the most efficient use of communication facilities (antenna systems) in a complex electromagnetic environment and to reduce the deployment (folding) time, adjust radio and satellite communications in the operational-tactical and tactical control levels.*

*The system of automatic stabilization of the antenna field platform will provide optimal conditions for the interaction of antenna systems that are part of the antenna field of radio-electronic means of the compact constellation. Optimal conditions should be understood as vertical placement of omnidirectional antennas, the possibility of changing the position of directional antennas in the azimuthal plane and ensuring the electromagnetic compatibility of radio electronic means. The deviation of the platform from the required angular positions of the reference coordinate system can be determined by accelerometers or other devices that measure the linear acceleration of an object in a given plane.*

*It is proposed to stabilize the platform through two channels for each of the axes. The angular position of the stabilized platform in space is specified in the reference coordinate system, which is not associated with a moving object (vehicle) that is moving, and in a moving coordinate system, it is rigidly connected with this object. It is proposed to use an inertial coordinate system as a reference coordinate system, that is, motionless relative to the horizon, which is oriented at a given point on the earth's surface. The proposed automatic system is universal, with the ability to adapt to the driving performance of a moving object. Adaptability is ensured by the presence in the control loop of an automatic stabilization system of circuits, the parameters of the transfer functions of which are pre-calculated for the tactical and technical characteristics of the moving object.*

**Key words:** automatic stabilization system; antenna field; coordinate system; actuator; platform; speed; acceleration; accuracy.

### References

- Kuzavkov V.V., Zarubenko A.O.** Variant budovy systemy stabilizacii antennoho polja na transportnomu zasobiv. Naukovyj zhurnal// Informacijna bezpeka: Severodoneck, Vyp. 3(31), 4(32), 2018 – s. 81-86.
- Sputnikovaya svyaz i veschanie/ Pod red. L.Ya. Kantora // Spravochnik. - 2 izd., peredrab. i dop. - M.Radio i svyaz - 1988.
- Borodich S.V.** EMS nazemnyh i kosmicheskikh radiosluzhb// M: Radio i svyaz, - 1990.Odessa: UGAS, 1996. – s. 30–63.
- Ka-revoljutsiya v sputnikovom ShPD //Zhurnal "Tehnologii i sredstva svyazi" #2, 2011, s.64-70.
- Zaytsev G.F.** Kombinirovannye sledyaschie sistemy. – K.: TehnIka, 1978.
- G.F.Zaytsev, V.K.Steklov, O.I.BrItskiy.** Teoriya avtomatichnogo upravlniya. – K.: TehnIka, 2002.
- Osmolovskiy P.F.** Kombinirovannye izmeritelnye sledyaschie sistemy // Pod red. V.S. Kulebakina i B.N. Petrova. – M.: Nauka, 1964.
- Aleksandrov E.E.** Optimizatsiya mnogokanalnyh sistem upravleniya / E.E. Aleksandrov, Yu.T. Kostenko, B.I. Kuznetsov. – Harkov: Osнова, 1996.
- Kuhtenko A.I.** Problema invariantnosti v avtomatike / A.I. Kuhtenko. – K.: Gos. izd-vo tehn. lit-ryi USSR, 1963.
- E.S. Bleyz, Yu.N. Semenov, B.K. Chemodanov.** Dinamika elektromashinnyh sledyaschih sistem /. – M.: Energiya, 1967.
- Osmolovskiy P.F.** Iteratsionnye mnogokanalnye sistemy avtomaticheskogo upravleniya. – M.: Sov. radio, 1969.
- Meerov M.V.** Sintez struktur sistem avtomaticheskogo regulirovaniya vysokoy tochnosti. – M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit-ryi, 1967.
- Zarubenko A.O.** Metodyka ocinky elektromaghnitnoji sumisnosti zasobiv radiozv'jazku za kryterijem dopustymoiji shyryny smugh blokuvannja vzajemnymy zavadamy. Naukovyj zhurnal// Zbirnyk naukovykh pracj//VITI Vyp.4, 2018 – s.45-53.
- Кузавков В.В., Зарубенко А.О.** Metodyka obchyslennja koordynat platformy systemy avtomatichnoji stabilizacii antennoho polja rukhomogo ob'jektu// DNDI MVS Naukovyj zbirnyk «Suchasna specialjna tekhnika» #2 (57) 2019, s. 40-50.
- Zarubenko A.O.** Variant budovy systemy stabilizacii antennoho polja na transportnomu zasobiv// Zbirnyk tez dopovidej naukovo-praktychnoji konferenciji «Zastosuvannja Sukhoputnykh vijsjk Zbrojnykh Syl Ukrainy u konfliktakh suchasnosti»/ NA SV 2018/ m.Ljviv/ Tezy stor. 115
- Zarubenko A.O.** Analiz ekspluatacijnykh kharakterystyk transportnykh zasobiv vijsjkovogo pryznachennja dlja syntezy avtomatichnoji systemy stabilizacii antennoho polja// Zbirnyk naukovykh pracj KhI naukovo-praktychna konferencija «Priorityetni naprjamky rozvytku telek. system»/ VITI 2018/ m.Kyjiv/ Tezy stor.107-108.
- Kuzavkov V.V., Zarubenko A.O.** Ocinka vitrovogho navantazhennja na antenu konstrukciju // Kyjiv: Zbirnyk naukovykh pracj/ Naukovo-doslidnyj instytut GhUR MOU Vyp. 44, 2017, s. 94-101.
- Zarubenko A.O.** Modelj rozrakhunku vplyvu povitrynykh mas na antenu systemu// Zbirnyk naukovykh pracj/ CNDI OVT ZSU: Kyjiv, Vyp. 4 (36), 2019.
- Kuzavkov V.V., Zarubenko A.O.** Ocinka mozhlivosti zminy konstruktyvu vstanovlennja ta nalashtuvannja anten suputnykovogho zv'jazku// Zbirnyk naukovykh pracj/Tekhnoghenno-ekologichna bezpeka ta cyvilijnyj zachyst: Kyjiv, DU IGhNS NAN Ukrainy, Vyp. 1(7), 2017, stor. 69-74.
- Besekerskiy V.A., Fabrikant E.A.** Dinamicheskij sintez sistem giroskopicheskoy stabilizatsii. Leningrad. Sudostroenie, 1968.
- Inertsialnye sistemy upravleniya. Pod red. **D. Pittmana. M.** Voenizdat, 1964