

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра приладів і контрольно-вимірювальних систем

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Інформаційно-вимірювальна система керування та наведення
антенного комплексу

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РІМ-61
спеціальності 152

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Одарич А.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Паламар М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Апостол Ю.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Паламар М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про ШСЗ

1.2 Типи опорно – поворотних пристроїв

1.2.1 Приклади опорно поворотних пристроїв

1.2.2 Слідкуючий силовий привід

1.3 Опис датчика кута, що використовується в установці

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Загальний опис опорно – поворотного пристрою антенної системи АС – 3

2.2 Кінематична схема і принцип дії ОПП

2.3 Перевірка точності наведення антени

2.4 Опис будови установки для перевірки датчика кута нижньої осі антенної системи АС-3

2.4.1 Принцип дії установки

2.4.2 Опис системи встановлення співвісності валів ОПП і установки

2.4.3 Розрахунок точності установки

2.5 Опис і будова приладу перевірки датчика кута верхньої осі антенної системи АС—3

2.5.1 Розрахунок точності пристрою для перевірки по верхній осі

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Системи автоматизованого проектування

3.1.1 Основні визначення САПР

3.2 Опис структурної схеми системи керування опорно-поворотним пристроєм системи антенної АС-3

4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1. Математичні моделі наземних АУ як об'єктів управління

4.2 Динамічні характеристики наземних АУ

4.2.1 Точність наведення наземних антенних установок. Задача дослідження точності наведення і критерії роботи систем управління

4.2.2 Класифікація помилок і сумарна помилка наведення АУ

4.2.3 Випадкові динамічні помилки наведення систем автоматичного управління наземними АУ

4.2.4 Випадкові динамічні помилки САУ наземних АУ, обумовленні впливом вітрових навантажень на АУ

4.2.5 Статичні вітрові навантаження

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

РЕФЕРАТ

ТЕМА: Інформаційно-вимірювальна система керування та наведення антенного комплексу.

МЕТА РОБОТИ: Розробити пристрій для перевірки датчика кута нижньої та верхньої осі антенної системи АС-3.

На основі аналізу різних розглянутих методів і засобів вимірювань кутових переміщень розробити систему перевірки кутового переміщення системи антенної АС - 3, в якій застосовують оптоелектронний давач кута М600. Основною вимогою до системи перевірки є забезпечення вищих точнісних характеристик ніж у вищезгаданому датчику кута..

Перелік ключових слів:

ВИМІРЮВАННЯ, ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ, ПОВІРКА, МЕХАНІЗМ,
ЦИКЛОГРАМА

ВСТУП

Важливою стороною роботи антенної системи є її точність, тобто наскільки точно наша система відображає і відтворює кути наведення антени на ШСЗ. Саме в цих цілях в даній роботі було розроблено систему перевірки датчиків кута даної установки. Універсальність цієї системи перевірки полягає в тому, що вона робить перевірку в складі з самою антенною системою, тобто результати, які ми отримуємо будуть не лише про датчики кута, а в загальному про роботу системи наведення. Так як пристрої перевірки, які входять в проєктовану установку, встановлюються на різні конструкції ОПП, то дані з них включають в себе не тільки похибку датчиків кута, а й похибки наведення АС.

В сучасних приладах і автоматичних пристроях широкого застосування набули системи передачі кута. В слід за цим виникла потреба у вимірюванні кутових розмірів, які займають значне місце в різних галузях науки та техніки.

Останнім часом під впливом інтенсивного розвитку інтегральних схем, мікропроцесорних пристроїв відбулось оновлення та значне урізноманітнення техніки, що застосовується при вимірюваннях кутових розмірів. Сьогодні, завдяки прогресу вимірювальних приладів, можуть бути реалізовані різні методи вимірювання, які ще декілька років тому здавались неймовірними. Нові апаратні рішення приводять до появи нових різновидів методів вимірювань. Донедавна для вимірювань геометричних розмірів застосовували здебільшого прилади, що працюють за аналоговим принципом. Сьогодні у зв'язку зі значним прогресом в галузі первинних вимірювальних перетворювачів та винятковими можливостями цифрової вимірювальної техніки на перший план виходять цифрові засоби вимірювань цих величин. Їх основні переваги: можливість автоматизації

вимірювального процесу та автоматичної обробки результатів вимірювань, безперервний запис результатів вимірювань тощо.

Основні електричні методи та відповідні засоби вимірювань кутових розмірів залежно від наявності чи відсутності механічного контакту між досліджуваним об'єктом та засобом вимірювання поділяють на контактні та безконтактні, а залежно від принципу вимірювального перетворення методи поділяють на електромеханічні (резистивні, індуктивні, ємнісні, оптоелектронні), електрофізичні (електромагнітні, ємнісні, кондуктометричні) та спектрометричні.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про ШСЗ

Сучасні лінії супутникового зв'язку засновані, як правило, на використанні штучних супутників Землі (ШСЗ), які обертаються по стаціонарній круговій екваторіальній або еліптичній орбіті. В першому випадку висота орбіти складає приблизно 36 000 км і період обертання рівний одній добі. В результаті ШСЗ відносно Землі повинен залишатись нерухомим. В дійсності внаслідок дії ряду факторів (неточності виведення на орбіту, притягання Місяця і т.д.) виникають деякі зміщення ШСЗ, однак ці зміщення невеликі і виникають дуже повільно.

Використання ШСЗ на стаціонарній орбіті забезпечує ряд експлуатаційних зручностей: дозволяє спростити опорно – поворотні пристрої (ОПП) полегшує вирішення задачі наведення променя антенної установки. Проте зв'язок через ШСЗ такого типу можливий лише для тих пунктів, для яких кут місця на нього не менший 5° (при зменшенні величини кута різко зростає прийом шумів Землі і атмосфери, внаслідок чого погіршуються умови прийому сигналу). Тому для високоширотних областей земної кулі доводиться використовувати ШСЗ на еліптичній орбіті, апогей якої знаходиться в відповідній півкулі. Наприклад у сімейства ШСЗ типу «Молнія» еліптична орбіта має апогей близько 40 000 км. В спеціальних системах зв'язку знаходять застосування і більш низькі кругові і еліптичні орбіти. В цій системі зв'язку слід відмітити, що чим нижча орбіта тим складніше вирішення задачі наведення.

При використанні ШСЗ на еліптичних або середніх кругових орбітах необхідно забезпечити наведення променя антени земного пункту в межах зміни кута місця приблизно $\pm 85^\circ$ і азимута $\pm 180^\circ$. Кутові швидкості і прискорення при цьому залежать від схеми опорно - поворотного приладу, на

якому підвішено дзеркало. Опорно – поворотні пристрої служать для підвіски дзеркальної системи і наведення променя на ШСЗ, а також для розміщення прийомно – передавальної апаратури.

При використанні еліптичних і середніх кругових орбіт, коли слідкування супутника від горизонту до горизонту вимагає від поворотних пристроїв перекриття широкого діапазону кутів по азимуту і кутів місця, опорно – поворотні пристрої зазвичай забезпечують перекриття по куту місця не менше 90° і по азимуту до 540° . Менші межі достатні тільки для слідкування ШСЗ на суто екваторіальній орбіті. В нашому випадку, для станцій розташованих на 50° північної широти достатнє перекриття по куту місця 40° і 170° по азимуту. Однак вказане зменшення перекриття по кутах не призводить до зміни основних конструкцій опорно - поворотних пристроїв і дає лиш незначне зменшення вартості. Для слідкування ШСЗ на стаціонарній орбіті потрібен істотно менший діапазон кутів і тут можна використати спрощений і більш дешевий опорно – поворотний пристрій.

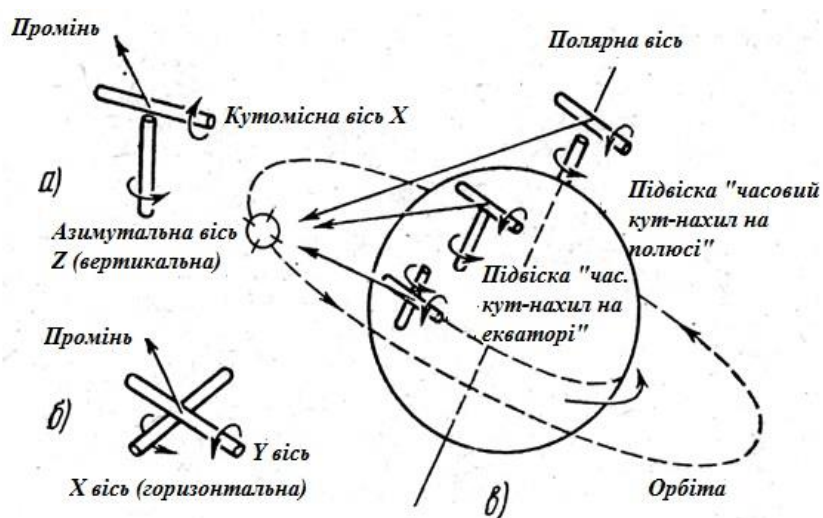


Рисунок 1.1 – Схеми підвіски в осях X – Z (а), X – Y (б), «часовий кут - нахил».

Для ШСЗ з середніми висотами орбіти максимальна кутова швидкість не перевищує долей градуса в секунду. Однак можливі кутові швидкості поворотів антени повинні бути істотно більшими щоб дозволити змінювати

напрямок променя за прийнятний час, і зазвичай досягають 1- 2 град/с як по азимуту так і по куту місця.

Промінь антени повинен бути направлений на ШСЗ з точністю не меншою однієї десятої діаграми направленості. Оскільки ширина діаграми направленості складає десяти долі градуса, то ця вимога є жорсткою і її виконання є головною задачею систем наведення променя антени на ШСЗ.

Систематизувати опорно – поворотні пристрої зручно по схемі підвіски дзеркал в тих чи інших осях. Найбільш розповсюджені схеми в осях «азимут – кут місця» $X - Z$, в осях $X-Y$ і «часовий кут – нахил» подані на рисунку 1.1

1.2 Типи опорно – поворотних пристроїв

Розглянемо типи підвісок(опорно – поворотних пристроїв), які використовуються в галузі космічного зв'язку.

Азимутально – кутомісна підвіска. Азимутально - кутомісна підвіска широко розповсюджена, оскільки вона зазвичай використовується для прожекторів, кінокамер, теодолітів, радіолокаторів і т. д. Ця підвіска складається з первинної(нерухомої) і горизонтальної вторинної. Вертикальну вісь називають азимутальною, горизонтальну – кутомірною. Остання обертається відносно первинної, сама ж антена обертається відносно вторинної осі. Геометрія підвіски приведена на рисунку 1.2а.

Тут показані видима півсфера, первинна вісь TA (вертикальна) , початкове положення вторинної осі TB (схід) і початковий напрям променя антени TC (північ, кут місця рівний 90°).

Обертання відносно осі TA напрямляє промінь до напрямку TC_1 (азимут φ , кут місця 0°), а вторинну вісь до напрямку TB_1 (азимут $90^\circ+\varphi$). Обертання відносно вторинної осі напрямляє промінь до напрямку TC_2 (азимут φ , кут місця Φ).

Початковою для всіх напрямів є точка T . Точка A може бути прийнятою для позначення напрямку TA . Ця умова спрощує розгляд

азимутально – кутомісної підвіски. Згідно цієї умови опис руху по азимуту і куту міця приводиться до наступного: первинна вісь А (зеніт), початкове положення вторинної осі В (схід) і початковий напрям променя С (північ, кут міця 0°). Обертання відносно А напрямляє промінь в C_1 (азимут φ , кут міця 0°), вторинну вісь в B_1 (азимут $90^\circ + \varphi$, кут міця 0°). Обертання відносно цієї вторинної осі приводить промінь в C_2 (азимут φ , кут міця Φ). Оскільки точки А, В, B_1 , С, C_1 , C_2 лежать на поверхні сфери, то ми можемо спроектувати сферичну поверхню на площину, показану на рисунку 1.2 б. Рисунок 1.2 б можна розглядати як викривлений вигляд видимої півсфери зі сторони зеніту. Виходячи рисунка 1.2 легко уявити геометрію азимутально – кутомісної підвіски.

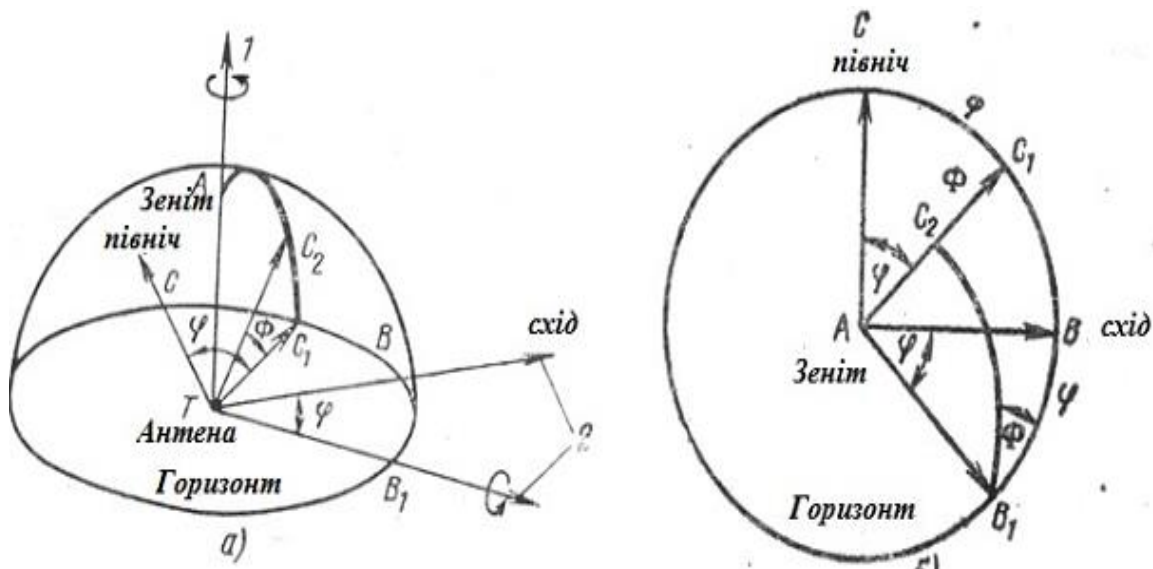


Рисунок 1.2 – Геометрія азимутально – кутомісної підвіски (а), проекція видимої півсфери:

Для виконання азимутально – кутомісної підвіски використовують два різні методи побудови опорно – поворотних пристроїв. Для антени середніх розмірів зазвичай використовують опорно – поворотні пристрої з центральною вежею (рисунок 1.3). Антену монтують на конструкцію, яка розміщується в центрі вежі. Азимутальний привід здійснюють з допомогою зубчастої передачі, яка також знаходиться всередині вежі. Привід по куту

місця здійснюють за допомогою зубчастої передачі, яка знаходиться за межами вежі.

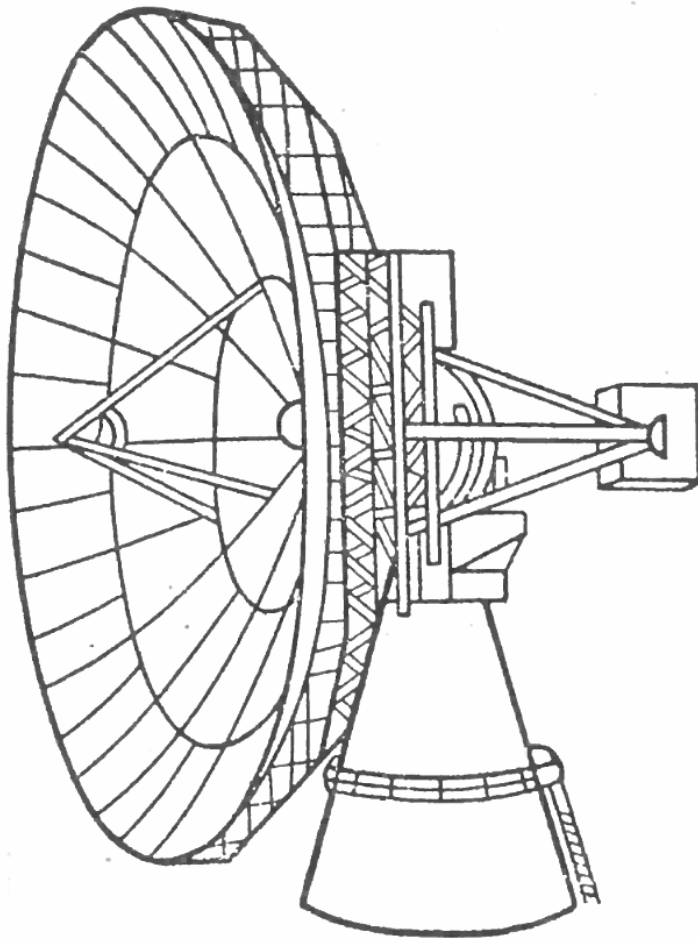


Рисунок 1.3 – Опорно – поворотний пристрій «бакенного типу» з азимутально – кутомісною підвіскою.

Другий метод, як правило, використовують для великих антен. Він базується на використанні опорно – поворотних пристроїв карусельного типу, в кому на погоні великого діаметра встановлені каретки. Зазвичай в азимутальному приводі використовують зубчасте колесо приблизно того діаметру, що і погон. Опорно – поворотні пристрої знайшли своє застосування в антенних станціях супутникового зв'язку, обладнаних хвилеводом (рисунок 1.3).

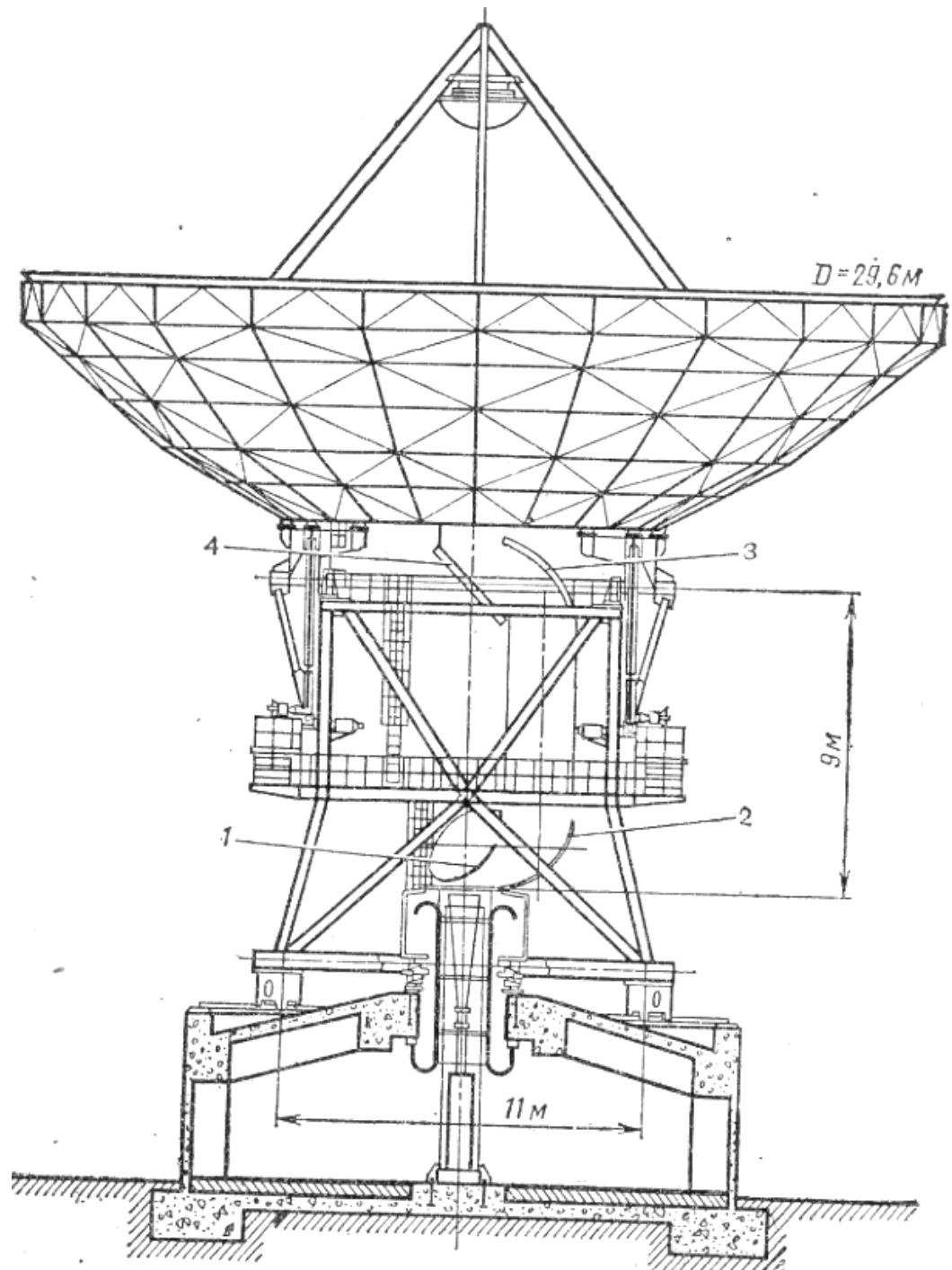


Рисунок 1.4– Схема азимутально – кутомісного опорно – поворотного пристрою антени з хвилеводом: 1, 2, 3, 4 – дзеркала хвилевода.

Для цих антен важливо щоб центральна частина опоро – поворотного пристрою була вільною і в цій частині була можливість розмістити хвилевід.

Підвіски в осях X-Y і X-Y-Z. Якщо первинна вісь горизонтальна, а вторинна – перпендикулярна їй, то такий пристрій називають підвіскою в осях X-Y (рисунок 1.4).

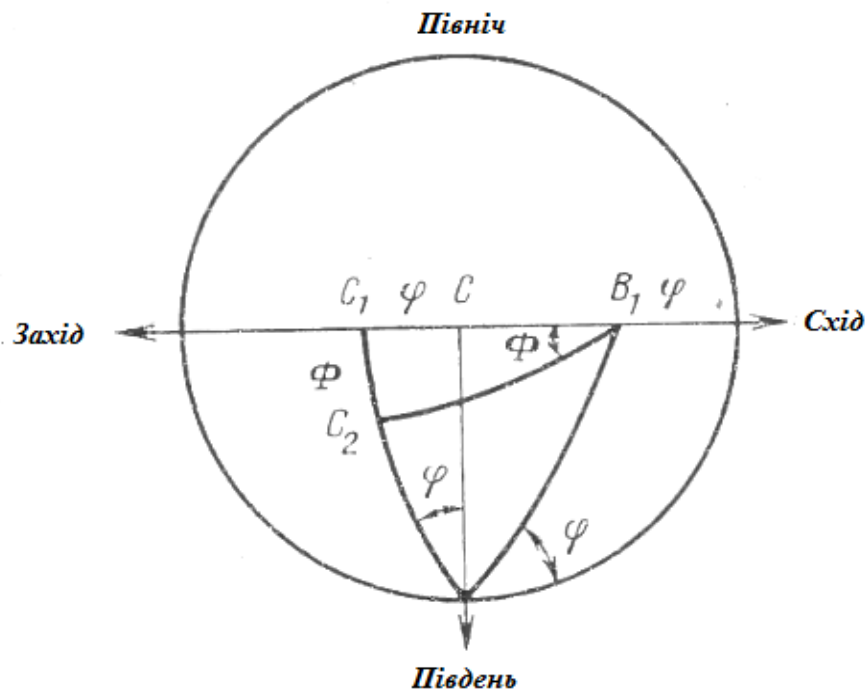


Рисунок 1.5– Система з підвіскою в осях X – Y

Для огляду всієї небесної півсфери як по Φ , так і по φ повинно забезпечувати перекриття $\pm 90^\circ$. Щоб виключити вплив Землі, обидві осі повинні бути піднятими над нею не менше ніж на половину діаметра антени. Якщо антена має великі розміри, то вказана умова призводить до ускладнення конструкції. Однак при невеликих розмірах складності не виникає. В той час переваги підвіски в осях X-Y являється можливістю слідкувати за ШСЗ в області, близькій до зеніту. Справа в тому, що в системах X-Z в напрямі нерухомої первинної осі і прилеглих нього напрямках (тобто в області зеніту) виникає так звана «мертва зона».

Коли супутник знаходиться близько від зеніту, то зміна його азимутальної швидкості слідкування істотно більша, ніж зміна кутової швидкості. Цей факт ускладнює наведення антени при азимутально – кутомісній підвісці.

Для станцій, розміщених на борту корабля, «вертикаллю» є нормаль до палуби. Цей напрям змінюється при качках і поворотах. Якщо судно знаходиться поблизу екватора, то ШСЗ може майже над головою і при азимутально – кутмісній підвісці супровід його із – за «мертвої воронки» сильно затрудниться.

Якщо антена земної станції підвішена на опорно – поворотній пристрій з осями X-Y, то подібної проблеми просто не виникає. Однак виникають труднощі при супроводі ШСЗ в напрямках, близьких до первинної осі системи X-Y. Оскільки первинна вісь горизонтальна, то за «мертвої воронки» проявиться при проходженні супутника під малим кутом місця. Подолати вказану ускладненість можна, наприклад повернувши антену по азимуту так, що направити первинну вісь в сторону від штучного супутника Землі. Оскільки зміна положення первинної осі може бути проведена з малою швидкістю і без будь – яких вимог до точності кута, то пристрій повороту спрощується і здешевлюється. Опорно – поворотні пристрої, побудовані описаним способом, називають пристроями з підвіскою в осях X-Y-Z.

Не ортогональні підвіски. В деяких випадках знаходять застосування ортогональні підвіски, в яких кутomisна вісь створює з вертикальною віссю кут α . В такій підвісці азимутальна вісь лишається вертикальною, але початкове положення кутomisної осі має напрям азимут – північ, кут місця $90^\circ - \alpha$, початковий напрям променя – азимут – північ, кут місця $90^\circ - 2\alpha$. Переміщення по азимуту ϕ переводить з В в В₁(азимут ϕ , кут місця $90^\circ - \alpha$). Рух покуту місця здійснюється обертанням осі С₁ відносно точки В₁ на кут γ так, щоб досягнути точки С₂. Відношення між дійсним азимутом, кутом місця, не ортогональним азимутом і кутом місця легко знаходяться з формул сферичної тригонометрії. Специфічні труднощі при не ортогональні підвісці виникають при наведенні променя. Тут необхідні деякі додаткові розрахунки.

Після проведення цих розрахунків наведення стає таким легким як і при азимутально – кутomisній підвісці. Схема системи не ортогональної підвіски приведена на рисунку 1.6.

Азимутально – кутомісна підвіска з перехресним кутомісним рухом.
 Ще одним варіантом трьохвісної підвіски є азимутально – кутомісна підвіска з перехресним рухом.(рисунок 1.7)

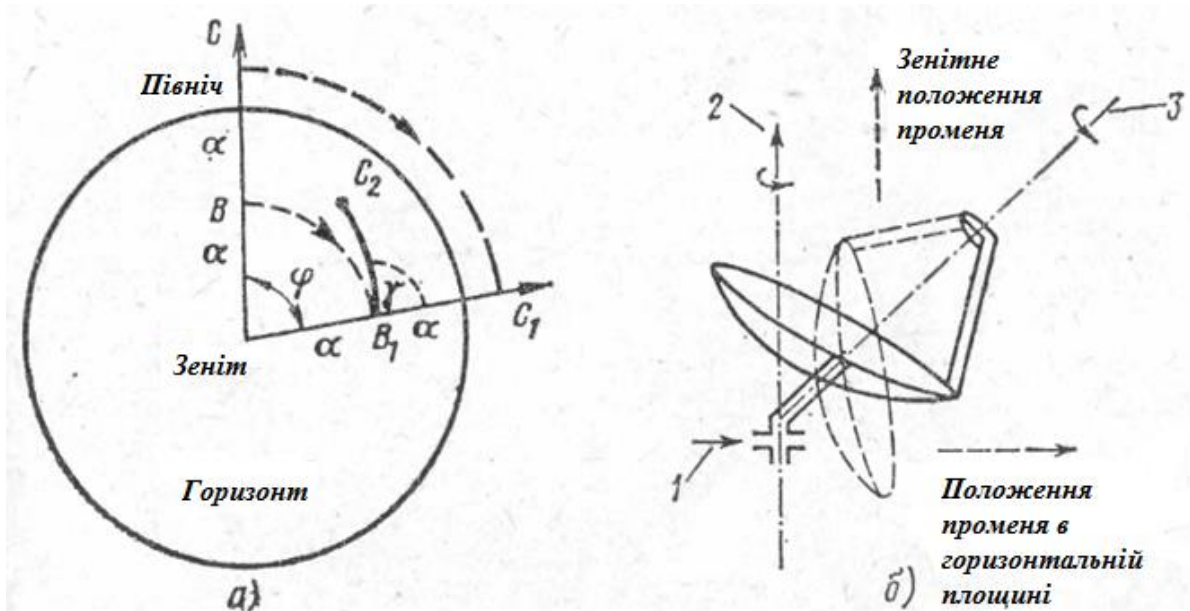


Рисунок 1.6 – Система з не ортогональною підвіскою а), не ортогональна підвіска б):

1 – обертальне з'єднання; 2 – азимутальна вісь; 3 – кутомісна вісь

Третя вісь позначена буквою D. В вихідному положенні ця вісь співпадає з азимутальною віссю (при куті місця, рівному 0°). На рисунку 1.6 азимутальні повороти позначені кутом φ , кутомісні – кутом Φ і перехресні кутомісні повороти η . Перехресний кутомісний рух здійснюють в невеликих межах(зазвичай до $\pm 10^\circ$). Для отримання перехресного кутомісного переміщення рама, несуча звичайний азимутально – кутомісний поворотний пристрій, закріплюється шарнірно. Керування такою підвіскою складніше ніж при підвісці в осях X-Y чи X-Y-Z.

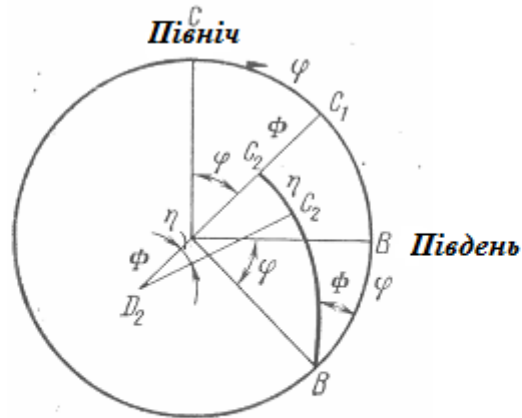


Рисунок 1.7 – Азимутально – кутомісна підвіска з перехресним кутомісним рухом.

Трипоїдна підвіска. Для роботи з ШСЗ на стаціонарній орбіті достатні переміщення променя в невеликих межах. Це дозволяє спростити і здешевити опорно – поворотні пристрої. Хоч дослідження показали, що, наприклад, вартість стандартного азимутально – кутомісного опорно – поворотного пристрою за рахунок обмеження меж поворотів по азимуту і куту місця може бути незначно зменшена, однак є можливість використовувати повністю відмінний по конструктивній схемі опорно – поворотний пристрій, значно простіший і дешевший. Таким пристроєм опорно – поворотний пристрій з трипоїдною підвіскою(рисунок 1.8).

В цьому опорно – поворотному пристрої антена прикріплена до рами, яка зв'язана з нерухомою підставкою трьома штоками. Один з них має фіксовану довжину, а два інших – регульовану. З допомогою регульованих штоків в деяких межах можна змінювати напрям променя. Діапазон настройки штоків підбирається з таким розрахунком, щоб перекриваюча область неба була достатньо велика, а нерухому підставку ставлять в таке положення щоб ШСЗ знаходився в середині області настройки. Детальне вивчення показало, легко сконструювати опорно – поворотний пристрій з перекривання діапазону кутів +/- 5° і можна розширювати діапазон до +/- 10°. Поворотів променя в вказаних межах достатньо для перекриття всіх положень ШСЗ на суміжних стаціонарних орбітах, рознесених по довготі на

5°. Якщо виникне необхідність, щоб станція працювала з іншим ШСЗ на стаціонарній орбіті, зміщеній відносно першої на великий кут, наприклад, на 20°, то нерухома опора може бути переставлена цей кут. Однак це потребує визначеного часу. Тому трипоїдний опоро – поворотний пристрій більше підходить для станцій, які працюють з парою штучних супутників землі на стаціонарній орбіті і з кутовим розносом близько 5°. Ще однією перевагою даного опорно – поворотного пристрою є можливість використання фіксованої поляризації, що при азимутально – кутомісній підвісці для пунктів, близьких до під супутникової точки на стаціонарній орбіті, не забезпечуються.

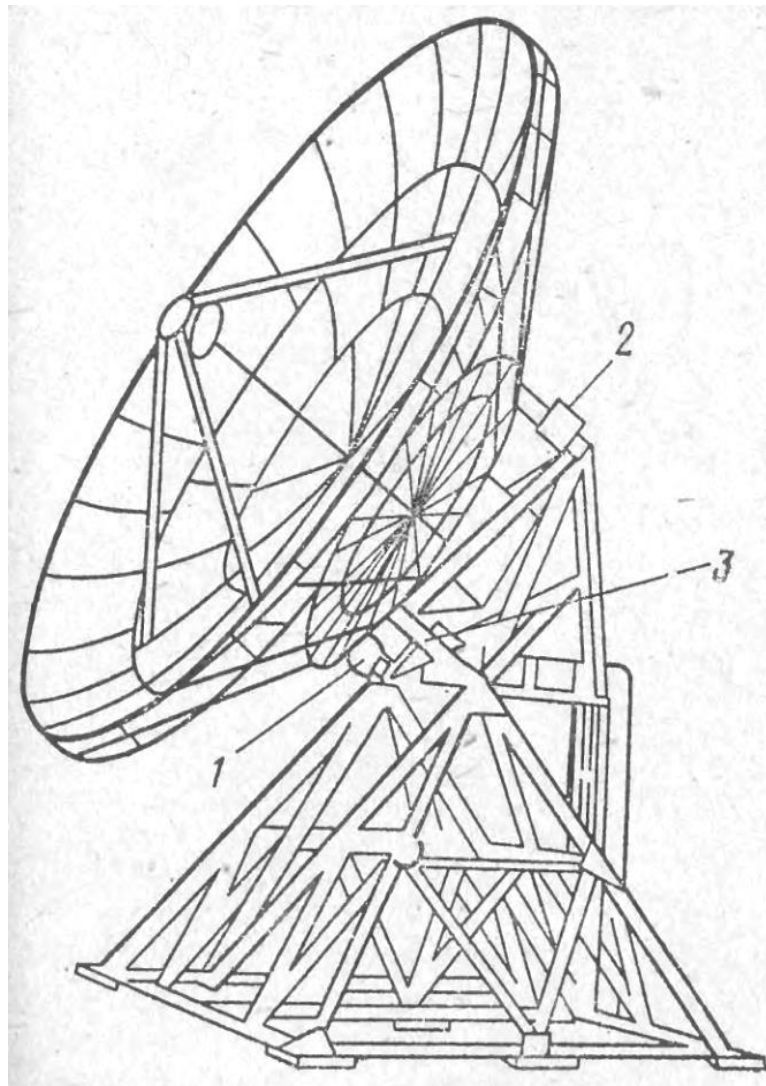


Рисунок 1.8 – Трипоїдна підвіска:

1, 2 – настроювані штоки; 3 – ненастроюваний шток.

1.2.1 Приклади опорно поворотних пристроїв

Опорно – поворотний пристрій антени станції «Орбіта». Опорно – поворотний пристрій антени станції «Орбіта»(рисунок 1.9) відноситься до опорно – поворотних пристроїв межового типу і призначений для підвіски 12 – метрового дзеркала в системі азимут – кут місця. В його склад входять основа 1, азимутальна 2 і верхня 3 ферми, силові приводи слідкуючих систем, азимутальної і кутомісної осей, а також ряд допоміжних елементів(амортизатори, приладні редуктори і т.д.).

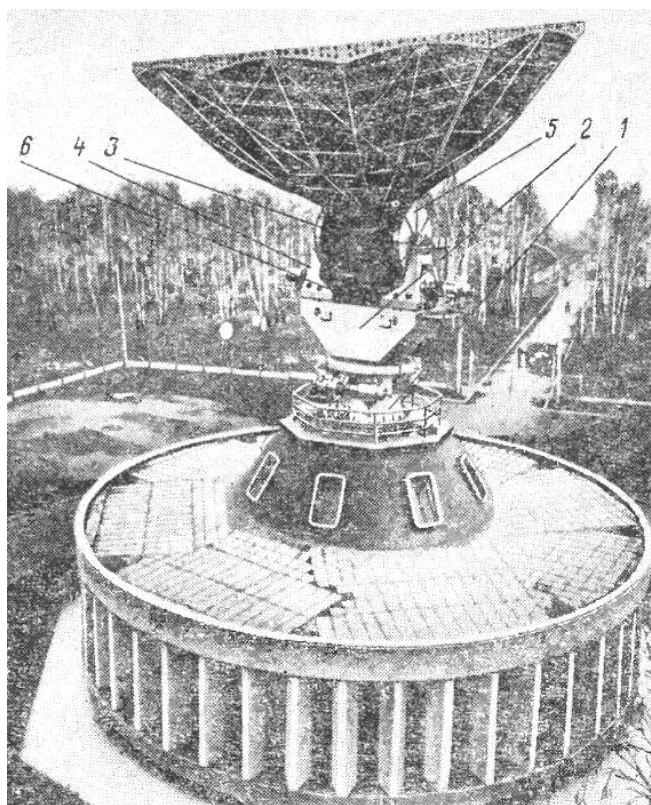


Рисунок 1.9 – Опорно – поворотний пристрій антенної станції «Орбіта»

Основа 1 кріпиться до закладної рами, забетонованої в даху приміщення станції. На основі встановлена колона, яка складається із сталеві труби і двох литих фланців, навколо якої на підшипниках обертається трапецеїдальна азимутальна ферма, яка є несучим елементом для опор, підтримуючих конструкції, які обертаються по куту місця. Силовий

каркас ферми зварений з сталєних кутників і обшитий сталєвими листами. На верхній основі ферми на майданчиках закріплені права і лїва опори 4.

Верхня ферма 3 служить для обертання дзеркальної системи по куту мїсця Основа ферми – несуча конструкція, зварена з сталєвих кутників і листів. До неї на болтах кріпиться лита перехїдна плита, до якої пристиковується дзеркало. З протилежної сторони до ферми кріпиться противага. На бокових поверхнях ферми встановлені зубчасті сектори 5, закриті кожухами. Цї сектори знаходяться в зачепленї з вихїдними зубчастими колесами кутомїсних приводів і передають обертовий момент на кутомїсну вїсь антени. Приводи розмїщені в отворах опор. На опорах розмїщені кутомїсні амортизатори, якї використовуються для гасїння енергїї обертальних мас і обмеження границь поворотів по куту вїдносного початкового положення антени ($\pm 280^\circ$ по азимуту). На одній з опор встановлений приладний редуктор. В силовї приводи азимутальної і кутомїсної осей входять двигуни, муфти і силовї редуктори. В привїд азимутальної осї входить також диференціальний редуктор. Цей редуктор призначений для передачі обертового моменту вїд двох почергово працюючих двигунів до валу азимутального силового редуктора. Останній здїйснює передачу крутного моменту вїд диференціального редуктора до азимутальної осї. Таку ж функцію виконує і кутомїсний редуктор, але застосовується до осї обертання по куту мїсця.

Конструктивно – механїчні характеристики антени вибрані виходячи з необхідностї забезпечення роботи в суворих клїматичних умовах без укриття з номїнальною точнїстю при швидкостї вїтру до 20 м/с.

Опорно – поворотний пристрїй межового типу для антен з дїаметром дзеркала 7 м перевїзної станцїї «Марс». Опорно – поворотний пристрїй для антени перевїзної станцїї «Марс» (рисунок 1.10).

По своїй схемї вїдноситься до пристроїв межового типу. Вїн є повно поворотним і призначений для пїдвїски дзеркала до 7 м в системї азиму – кут мїсця.

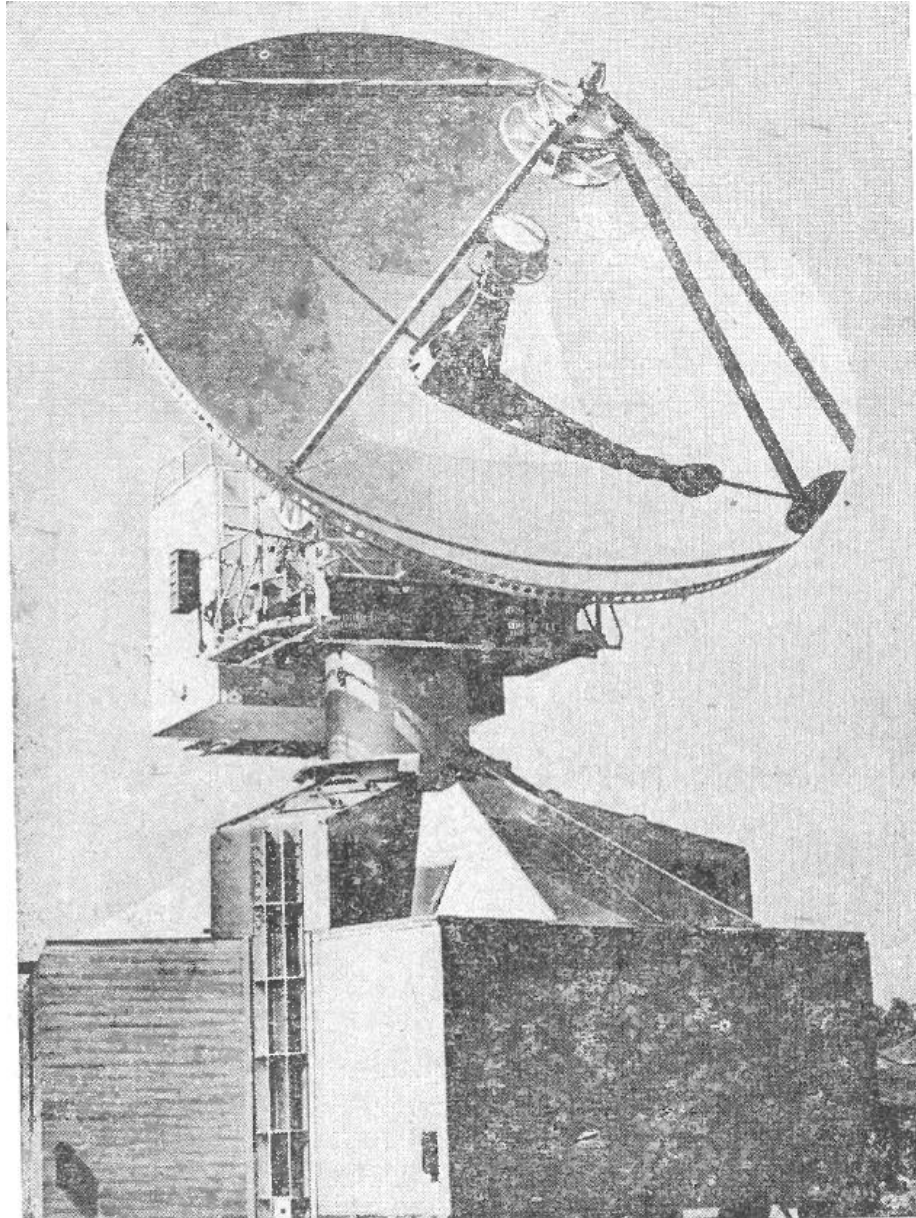


Рисунок 1.10 – Опорно – поворотний пристрій «башенного» типу перевізної антенної станції «Марс».

В цей пристрій входять нерухома основа з азимутальною віссю, вузлом опорно – поворотного пристрою, який обертається по азимуту, вузол , який обертається по куту місця, електрообладнання і додаткове обладнання. Нерухома основа з закріпленою на ній вертикальною віссю механізму наведення по азимуту, зубчастим ободом і опорними вузлами осі механізму наведення по азимуту є основною несучою конструкцією, яка сприймає всі навантаження від обертової частини.

Поворотна частина – станок з кожухами, на якому встановлені всі основні механізми приводів і силового електроприводу – обертається на підшипниках опорних вузлів. До тильного торця станка пристиковується апаратна кабіна.

В коливну частину опорно – поворотного пристрою входять підцапфена балка і сектори. Електрообладнання опорно – поворотного пристрою складається з електропроводів наведення, пристрою світіння, обігріву, вентиляції і кабелів.

Опорно – поворотний пристрій зберігає працездатність в інтервалі температур навколишнього середовища $-50 - +50^{\circ}\text{C}$.

Опорно – поворотний пристрій карусельного типу стаціонарних антен з діаметром дзеркала 30 м. Як приклад опорно – поворотного пристрою карусельного типу можна розглянути опорно – поворотний пристрій карусельного типу, розроблений французькою фірмою «Тульспейс», для антени з дзеркалом діаметром 30 м.

Пристрій витримує наступні робочі умови: зберігає працездатність з пониженими точностями при максимальній безперервній дії вітру 31 м/с і дощі 80 мм/с; витримує без залишкових деформацій вітровий опір при швидкості вітру до 54 м/с, дощ 100 мм/год напруязі 1 години; землетрус з прискоренням $0,5g$ в горизонтальному і $0,1 g$ в вертикальному напрямках.

Опорно – поворотний пристрій (рисунок 1.11) складається з двох основних частин, одна з яких об'єднує всі елементи, які обертаються відносно азимутальної осі, а інша – кутомісної.

До останньої кріпиться дзеркало. Для зручності першу частину будемо називати азимутальним вузлом, а другу – кутомісним. Азимутальний вузол змонтований на сталевій зварній фермі і являє собою дуже стійку конструкцію, яка опирається на дві приводні і дві підтримуючі конструкції. Каретки рухаються по круговій рейсі діаметром 22м, яка положена на бетонному фундаменті. Рейса сприймає вагове навантаження і вертикальну компоненту вітрового навантаження. Горизонтальна компонента

сприймається опорним підшипником центральної осі, який закріплений в фундаменті.

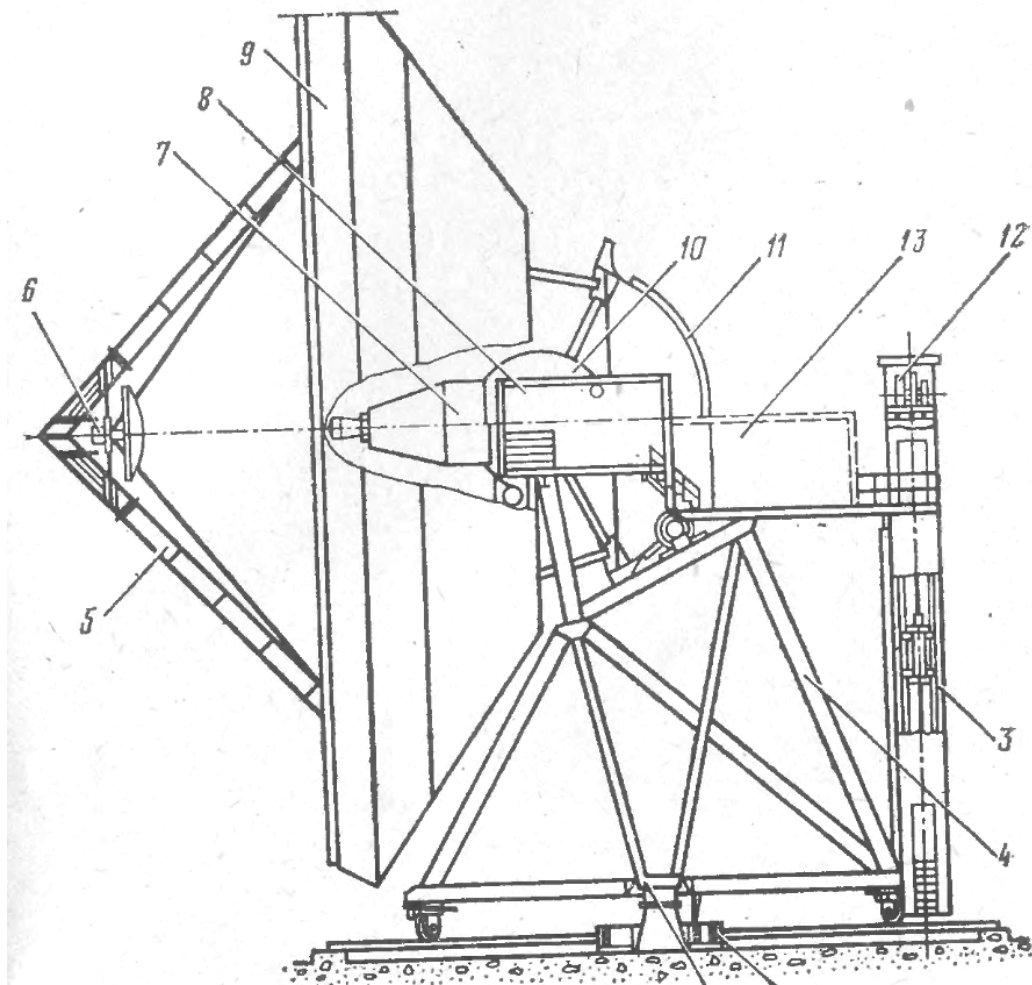


Рисунок 1.11 – Схема опорно – поворотного пристрою з 30 метровим дзеркалом:

1 – пристрій намотки кабелю; 2 – вісь підшипника; 3 – шахта ліфта; 4 – азимутальний вузол; 5 – опори; 6 – механізм настройки контр рефлятора; 7 – кабіна опромінювача; 8 – передня апаратна кабіна; 9 – кутомісний вузол; 10 – кожух; 11 – зубчастий сегмент; 12 – задня апаратна кабіна; 13 – ліфтовий механізм.

Кутomisний вузол виконаний із радіальних ферм, закріплених на центральному кільці і з'єднаних фермовими кільцевими поясами і розкосами. До тильної сторони конструкції жорстко пристиковані два зубчасті сегменти. Кутomisний кут спирається на два підшипник за допомогою цапф,

закріплених на центральному барабані, до якого закріплено основне дзеркало. Повороти по куту місця забезпечуються за рахунок передачі крутного моменту приводу через дві шестерні на згаданих вище два зубчасті сегменти, які знаходяться з цими шестернями в зачепленні. Для захисту від корозії поверхні сталевих елементів покривають фарбою.

Опорно – поворотний пристрій обладнано утепленою отоплюваною кабіною, яка знаходиться в верхній частині азимутального вузла. Крім того опорно – поворотний пристрій обладнано рядом пристроїв, забезпечуючи безпеку роботи з антенною установкою: гальмами, авоматичними і ручними пристроями стопоріння, буферами, кінцевими вимикачами, вимикачами СВЧ потужності при малих кутах місця.

1.2.2 Слідкуючий силовий привід

Одним з основних вузлів, без якого неможлива робота антенних установок є силовий слідкуючий привід. Проектування силового слідкуючого приводу відноситься до одної з важливих проблем, від успіху вирішення якої залежить ефективність і якість роботи антенної системи в цілому. В більшості випадків в антенних системах використовують багатодвигунні електроприводи, які використовують в зв'язку з наступних причин:

- великих моментів інерції і навантажень, при яких потужності одного електродвигуна не вистачатиме для наведення антенної установки в потрібному діапазоні швидкостей і прискорень з потрібною точністю;
- необхідністю просторового розподілу керуючих дій для збереження форми і мінімізації деформацій антенних установок в процесі стеження за ШСЗ в умовах великих, змінних в часі вітрових навантажень.

Максимальну швидкість приводного двигуна вибирають з таким розрахунком, щоб коефіцієнт передачі між віссю двигуна і виконавчими осями антенної установки мав практичне допустиме значення. Величини

максимальних і мінімальних швидкостей і прискорень, які можуть виникнути в процесі стеження за ШСЗ, визначаються на основі аналізу кінематики слідування їх антенними установками, які мають певний тип підвіски.

До силового приводу працюючого в режимі слідування за космічними об'єктами ставляться різні вимоги. При роботі в режимі слідування ШСЗ привід повинен забезпечити потрібну точність і плавність слідування, щоб космічний об'єкт не виходив за межі діаграми направленості антени.

В сучасних антенних установках передбачені два діапазони швидкостей наведення: низькі швидкості від 0 до 2-5°/с (для слідування за дальніми ШСЗ) і високі – від 5°/с до 5-10°/с (для слідування низько літаючих ШСЗ). Зазвичай для кожного діапазону зміни швидкості застосовують окремий виконавчий двигун. Це дозволяє забезпечити необхідну плавність ходу і покращити умови роботи виконавчого двигуна. Рідко для двох діапазонів зміни швидкості використовують один виконавчий двигун в поєднанні з редуктором, в якому можна вручну або дистанційно змінювати передаточне число.

Для покращення динамічних властивостей приводу і покращення точності наведення кінематичні силові вузли повинні бути виконаними з мінімальними люфтами (зазорами).

В основному задача проектування силового приводу зводиться до забезпечення точності наведення антенної установки в основних і допоміжних режимах роботи, в умовах великих змінних в часі моментів, створюваних вітровим потоком. Великі швидкості і прискорення при слідуванні за космічними об'єктами потребують використання виконавчих двигунів великої потужності, а вимога високої точності наведення вимагає зменшення похибок, викликаними флуктуаціями вітрових навантажень, за рахунок максимально можливого розширення смуги пропускання приводу. Ширина смуги пропускання приводу обмежена умовами стійкості, які визначаються частотою механічного резонансу конструкцій антенної

установки. Слід звернути увагу на наступних три обмеження, які виникають в процесі проектування силового приводу для наземних антенних установок.

По – перше, величина моментів навантажень і прискорень може призвести до нереальних вимог до потужності приводу(особливо при несприятливих метеорологічних умовах).

По – друге , величина кутових швидкостей і прискорень антенних установок і передаточне число редуктора можуть потребувати обробки швидкостей при збереженні заданої точності наведення в широкому діапазоні. Широкий діапазон регулювання по швидкості впливає не тільки на вибір виконавчого двигуна, але й повинен взятим до уваги при розгляді впливу статичного і сухого тертя в системі, якщо повинна бути забезпечена плавність наведення антенної установки на мінімальних швидкостях.

По – третє, немає такої конструкції, яка була б абсолютно жорсткою, тому особливу увагу слід звертати на динамічні властивості антенної установки, природу механічних резонансі при взаємодії об'єкта керування (металоконструкцій опорно – поворотного пристрою і механізмів наведення). Цей взаємовплив можна зменшити, обмежуючи смугу пропускання приводу або збільшуючи жорсткість металоконструкції антенної установки, чи використовуючи відповідні структурні реалізації і вводячи кола зворотнього зв'язку.

Таким чином, силовий привід наземних антенних установок повинен відвідати наступним вимогам:

- розвивати потужність, достатню для подолання сумарних моментів навантаження, які діють в антенній установці в процесі слідкування за космічними об'єктами;
- забезпечувати широкий діапазон регулювання по швидкості і плавності наведення на малих швидкостях слідкування за ШСЗ;
- володіти достатнім ступенем надійності при заданій якості перехідних процесів;

- окремі вузли і привід в цілому повинні мати лінійні характеристики з низьким статичним тертям, а також властивості, що дозволяють звести до мінімуму величину люфту в кінематичній схемі механізмів наведення;

- забезпечувати задану динамічну точність наведення в основних режимах роботи в умовах флуктуаційного вітрового навантаження, а також потрібної надійності роботи, простоту в експлуатації і ремонтоздатність.

1.3 Опис датчика кута, що використовується в установці

В даній антенній системі використовують опто-електронні датчики кута марки M600. M600 — безконтактний опто-електронний датчик кутових переміщень. На відміну від інкрементних систем він завжди знаходить застосування для обліку абсолютних кутових позицій і, в меншій мірі, для вимірювання позиційних змін. При зміні кутової величини в виключеному стані приладу абсолютна вимірювальна величина з'являється безпосередньо після його включення.

Принцип роботи цієї серії датчиків базується на принципі штрихового коду. Зразок штрихового коду, розташований на диску, зчитується оптоелектронним шляхом з датчика дисплея з керуванням від обчислювальної машини і з нього за допомогою мікроконтролера декодується абсолютна позиція. В пам'яті ЕСППЗУ постійно закладені всі необхідні параметри, такі як розрішення, нульова точка, напрям обертового руху і режим роботи, тобто вони лишаються в пам'яті приладу і в відключеному стані. Електроживлення всіх підключених до шини датчиків здійснюється через звичайний штекерний блок живлення з вихідною напругою близько 8... 16 В постійного струму, яке подається на адаптер інтерфейсу RS 232. Датчик даного типу має розрішення 3600 біт/360°, тобто забезпечує точність передачі кута приблизно рівну 6'.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Загальний опис опорно – поворотного пристрою антенної системи АС – 3

Опорно – поворотний пристрій системи антенної АС – 3 призначений для відсліджування штучних супутників Землі. До цього пристрою прикріплюватиметься дзеркальна антена 1, діаметр дзеркала якої три метри .

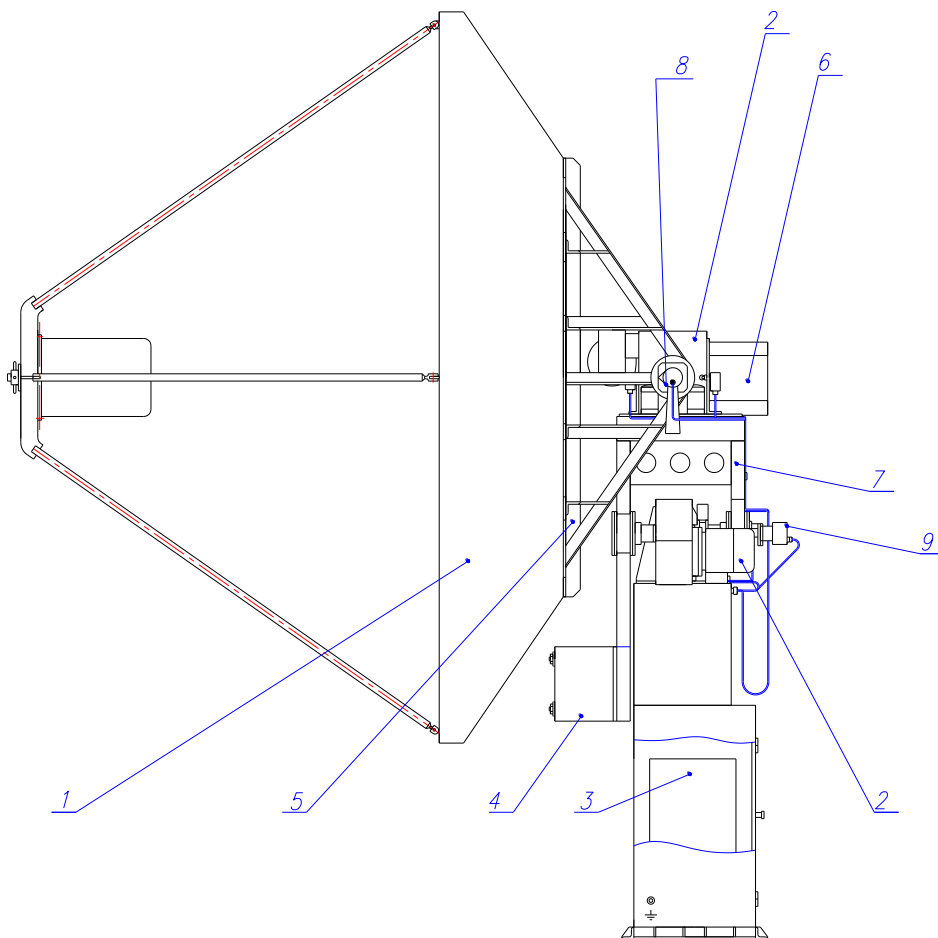


Рисунок 1.15 - Опорно поворотний пристрій антенної системи АС – 3

Даний опорно – поворотний пристрій має підвіску в осях X – Y, тобто має дві осі обертання, які перпендикулярні між собою і паралельні до горизонту. Вузли на цих осях можуть повертатися на 180°, тобто наша установка може відслідити супутник на усій півсфері, де вона буде знаходитись.

Вся установка знаходиться на тумбі 3, яка в свою чергу прикріплюється до бетонної конструкції болтами. Конструкція тумби є зварною з кутників і швелерів у вигляді двох ящиків, боки яких зашиті сталевими листами. Призначення тумби не тільки в утриманні всієї конструкції пристрою, але й в зберіганні в ній частини електроустаткування і електроніки. Для цього в передній її частині прикріплені двері із замком.

Вузли установки обертаються навколо своїх осей завдяки двом однаковим мотор – редукторам 2. Мотор - редуктори ми беремо виробництва фірми MOTOVARIO, яка знаходиться в Сполучених Штатах Америки. Редуктор з двома черв'ячними передачами, має на виході двосторонній отвір з пазом під шпонку. В цей отвір ми вставляємо вали різної довжини для двох осей.

Нижній мотор – редуктор кріпиться безпосередньо на тумбу, до нього через вал приєднується проміжна рама 7. На проміжній рамі прикріплений другий мотор – редуктор. До вала верхнього редуктора прикріплюється перехідна опора 5. Перехідна опора – це конструкція зварена з кутників і призначена для приєднання антени до опорно - поворотного пристрою.

Для зменшення дії моментів сил від маси конструкції на двигуни, ми приєднуємо дві противаги, по одній на кожен вал. Вони частково зменшують статичні моменти приведені до ротора двигуна.

Точність наведення антени забезпечується датчиками кута, які приєднані до валів. Корпус датчика обертається разом з валом, а вал датчика мертво з'єднаний з попередньою ланкою. Цей принцип застосовується для обох осей обертання.

2.2 Кінематична схема і принцип дії ОПП

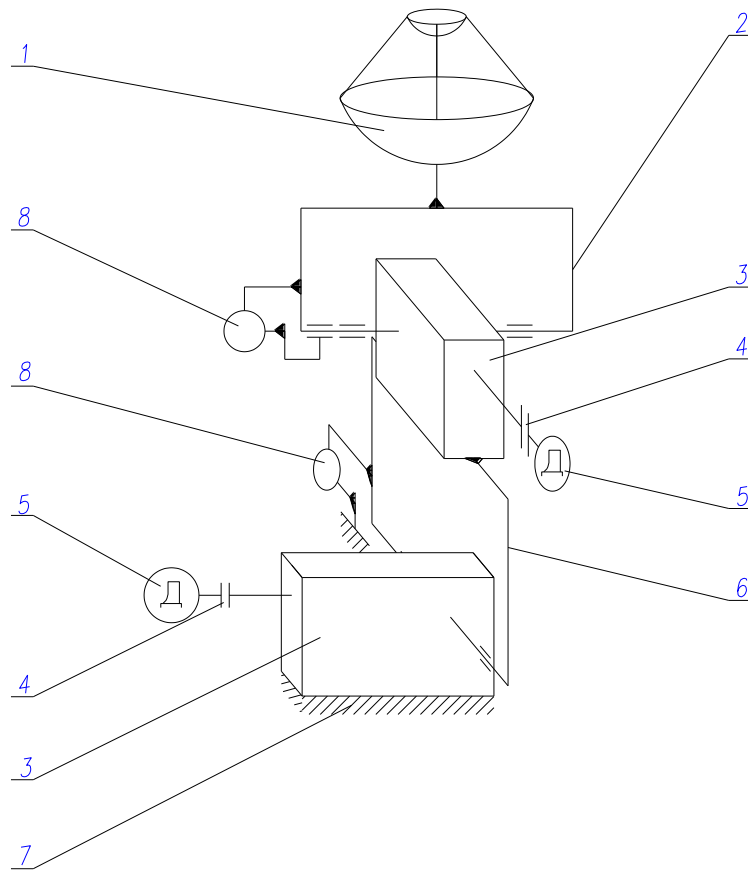


Рисунок 1.16 – Схема кінематична ОПП

Опорно – поворотний пристрій призначений для відсліджування і ведення штучних супутників Землі. Отже, двигуни ОПП під'єднуються до ПК, на якому задається траєкторія руху ШСЗ. Після введення даних в ПК, на двигуни 5 подається напруга і вони починають обертатися з певною швидкістю в одну чи іншу сторону. Обертове зусилля від двигунів через муфти 4 і редуктори 3 передаються до проміжних ланок 2, 6. Проміжна ланка 6 – рама проміжна, рухається по колу навколо осі редуктора і переміщує верхню частину ОПП. Проміжна ланка 2, обертаючись навколо осі, переміщує саму антену 1. В той час, коли проміжні ланки обертаються, кути їхнього повороту підсліджують датчики кута 8, які в момент досягнення.

2.3 Перевірка точності наведення антени

Точність наведення нашої антени залежить від кількох факторів:

- точність приводу (в нашому випадку точність черв'ячного редуктора);
- деформацій в опорній конструкції;
- зазорів в місцях з'єднання частин приводу.

Деформаціями в опорі ми знехтуємо, оскільки вони будуть мінімальними. Похибка в місцях з'єднання ланок буде невеликою і ми її теж не враховуємо. Ця похибка виникає в місцях з'єднання редукторів з валами і валів з рамами. Вони з'єднуються за рахунок шпонок. Припускаємо, що в шпонкових з'єднаннях зазорів немає.

Найбільша похибка виникатиме в редукторах, які в нашому випадку складаються з двох частин (двох черв'ячних передач). Черв'ячні передачі повинні відповідати наступним експлуатаційним вимогам:

- забезпечувати постійне передаточне відношення при будь – якому куті повороту;
- мати мінімальний мертвий хід;
- мати достатній контакт робочих поверхонь витків черв'яка і зубів колеса.

Низька точність виготовлення черв'ячних передач викликає недопустиме збільшення мертвого ходу, вібрації, шуми і спричиняє швидке зношення елементів передачі.

Для черв'ячних передач, так як і для циліндричних зубчастих передач, встановлені норми бокового зазору: з зменшеним, нормальним і збільшеним зазором. Необхідне спряження вибирають в залежності від умов роботи передачі. Від бокового зазору j_n між зубами колеса і витками черв'яка залежить мертвий хід передачі. Він може бути виражений кутом повороту колеса при нерухомому черв'яку. Якщо зазор в опорах валів

дорівнює нулю, то величина мертвого ходу передачі визначається за формулою (хв.):

$$\Delta\varphi_K = j_n / (0,5d_2 \cos \alpha \cos \gamma) = 7.32j_n / (d_2 \cos \gamma), \quad (3)$$

де $\alpha = 20^\circ$ - кут профіля;

j_n – боковий зазор (мкм);

d_2 – ділительний діаметр колеса;

γ - ділительний кут підйому лінії витка.

Оскільки наш редуктор складається з двох черв'ячних передач, то загальний мертвий хід буде дорівнювати сумі мертвих ходів двох передач.

$$\Delta\varphi_3 = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2$$

Обраховуємо мертвий хід першої передачі (редуктора NMRV 063).

γ_1 - беремо з таблиці з даними про редуктор $\gamma_1 = 12^\circ 51'$;

j_n - вибираємо з довідників при відомій міжосьовій відстані і відомим модулем;

d_2 - вираховуємо.

$$d_2 = m \cdot z_2 = 3,15 \cdot 30 = 94,5 \text{ мм}$$

$$\Delta\varphi_1 = 7.32j_n / (d_2 \cos \gamma) = 7,32 \cdot 60 / 94,5 \cos 12^\circ 51' = 20,4''$$

Обраховуємо мертвий хід другої передачі (редуктора NMRV 130).

γ_1 - беремо з таблиці з даними про редуктор $\gamma_1 = 5^\circ 11'$;

j_n - вибираємо з довідників при відомій міжосьовій відстані і відомим модулем;

d_2 - вираховуємо.

$$d_2 = m \cdot z_2 = 4,0 \cdot 60 = 240 \text{ мм}$$

$$\Delta\varphi_2 = 7.32j_n / (d_2 \cos \gamma) = 7,32 \cdot 75 / 240 \cos 5^\circ 11' = 2,3''$$

Рахуємо загальний мертвий хід двох редукторів:

$$\Delta\varphi_3 = 20,4'' + 2,3'' = 22,7''$$

Оскільки в нас використовується два однакових мотор – редуктори, то мертвий хід в них однаковий. Отже антена буде наводитись з точністю $\pm 11,35''$ по кожній осі.

2.4 Опис будови установки для перевірки датчика кута нижньої осі антенної системи АС-3

Важливою стороною роботи антенної системи є її точність, тобто наскільки точно наша система відображає і відтворює кути наведення антени на ШСЗ. Саме в цих цілях в даній роботі було розроблено систему перевірки датчиків кута даної установки. Універсальність цієї системи перевірки полягає в тому, що вона робить перевірку в складі з самою антенною системою, тобто результати, які ми отримуємо будуть не лише про датчики кута, а в загальному про роботу системи наведення. Так як пристрої перевірки, які входять в проектувану установку, встановлюються на різні конструкції ОПП, то дані з них включають в себе не тільки похибку датчиків кута, а й похибки.

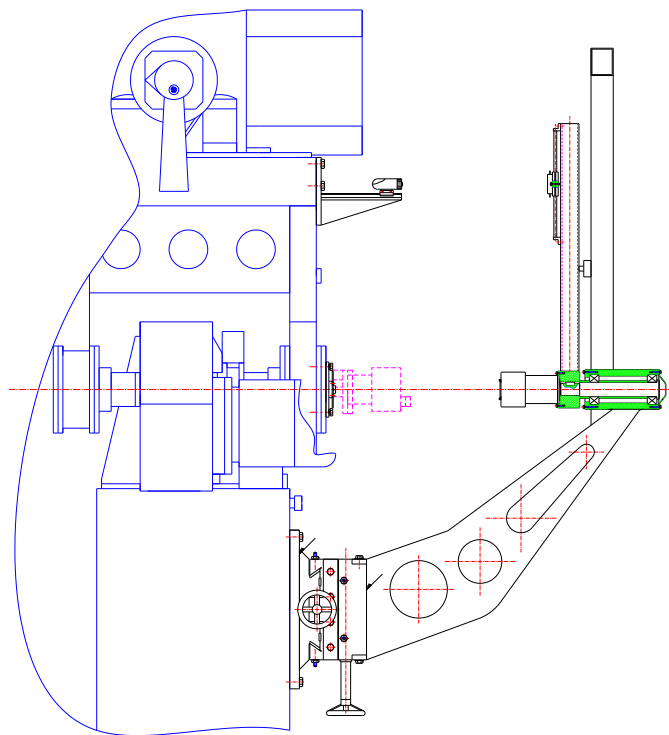


Рисунок 2.1 - Прилад для перевірки точності датчика кута по нижній осі

Прилад зображений на рисунку 2.1 призначений для перевірки точності датчика кута по нижній осі в антенній системі АС — 3. Принцип дії його полягає в встановленні еталонного кута, за допомогою актуатора, і звіряння кута повороту антени, який показує датчик кута з цим еталонним кутом, .

Цей прилад складається з трьох частин, виготовляється з сталі марки 40 для того, щоб забезпечити його стійкість до деформацій, які можуть вплинути на його точність. З цього матеріалу виготовляється основа, за допомогою якої ми закріплюємо прилад на антенній системі, на цій основі за допомогою болтів з потаями закріплюється блок напрямних, це дві пари напрямних «хвіст ластівки», які розміщені одна паралельно, друга перпендикулярно до базової площини установки. Ці напрямні призначені для базування нашого приладу, тобто встановлення співвісності між осями нижнього вала антенної системи і вала повірочного пристрою (будова і принцип роботи системи виставлення співвісності буде розглянутий в наступних пунктах курсової роботи). Також для базування можуть використовуватись пластинки різної товщини, які встановлюються між станиною пристрою і площиною, на яку він кріпиться (передня стінка тумби антенної системи АС - 3), цей метод може застосовуватись для встановлення паралельності між балкою пристрою і площиною в якій рухається антенна відносно нижньої осі, але незначні відхилення від цієї паралельності не матимуть ніякого впливу на результати повірки, тож на цю проблему увагу не звертатимемо. Остання пара направляючих прикріплюється зварним швом до опори. Ця конструкція виготовлена з отворами для зменшення її маси. Вона являє собою кронштейн по краях якого є ребра жорсткості з однієї і іншої сторони. На верхньому кінці опори закріплений корпус вала, він має циліндричну форму і дві виточки для закріплення підшипників. Для забезпечення відповідної точності (зменшити можливість шату) і забезпечення плавності руху ми використовуємо дворядні підшипники марки 80106. Вони забезпечать менший торцевий шат, що зменшить похибку

пристрою. В цих підшипниках закріплюється вал виготовлений з сталі марки 45X. З однієї сторони корпус з підшипниками глухо закривається кришкою, а з іншого кришкою з отвором. До вала за допомогою шпонки і двох гайок M16 закріплюється балка. За допомогою цих же гайок вал затискається в підшипниках, зажимаючи дві втулки, одна між балкою і переднім підшипником, а друга між підшипниками. Шпонка, за допомогою якої закріплюється балка, з валом садиться з натягом, також вона садиться з натягом і з балкою, це робиться для того щоб зменшити шат в і знехтувати цією похибкою. Балка виготовляється з профільної труби 20x40 мм, для того щоб зменшити її деформацію. На балці закріплюється блок напрямних фоторезистора. Він кріпиться на двох направляючих для того, щоб виставляти його на лазер. Фоторезистор ми вибираємо марки СФ2 - 19, вибір зроблений таким тому що в нього світлочутливий елемент має прямокутну форму 35x0,35 мм, що дозволить нам збільшити точність попадання променя лазера. До балки і опори ми прикріплюємо актуатора марки KR 5520A+1080LPI — 2200. Цей актуатора є дуже точним, його похибка неспівпадання між заданим переміщенням і реальним складас всього 0,035 мм (35 мкм). Він виконує роль поворотного механізму балки, тобто завдяки йому ми встановлюємо еталонний кут. Актуатор одним кінцем кріплюється безпосередньо на балці, а іншим закріплюється на спеціальному плечі, що виготовляється сумісно з опорою. Відстані між точками закріплення і центром вала є однаковими, що набагато полегшує обчислення залежності переміщення каретки актуатора і кута повороту самої балки. До фланця балки спереду прикріплюється чотирма болтами окуляр, який призначений для встановлення співвісності між валами антенної системи і повірочної установки.

Друга частина повірочного пристрою являє собою корпус закріплення лазера. Ми беремо лазерний приціл завдяки його високому коефіцієнту корисної дії і порівняно невеликим розмірам. Він вкомплектований надійним метало-пластиковим корпусом з можливістю закріплення на рейці, що ми і

використали для закріплення його на основі. Сама ж основа кріпиться на проміжну раму ОПП чотирма болтами М8.

Третя частина це Блок фоторезистора. Він призначений для встановлення співвісності між валами і буде описаний в наступних частинах.

2.4.1 Принцип дії установки

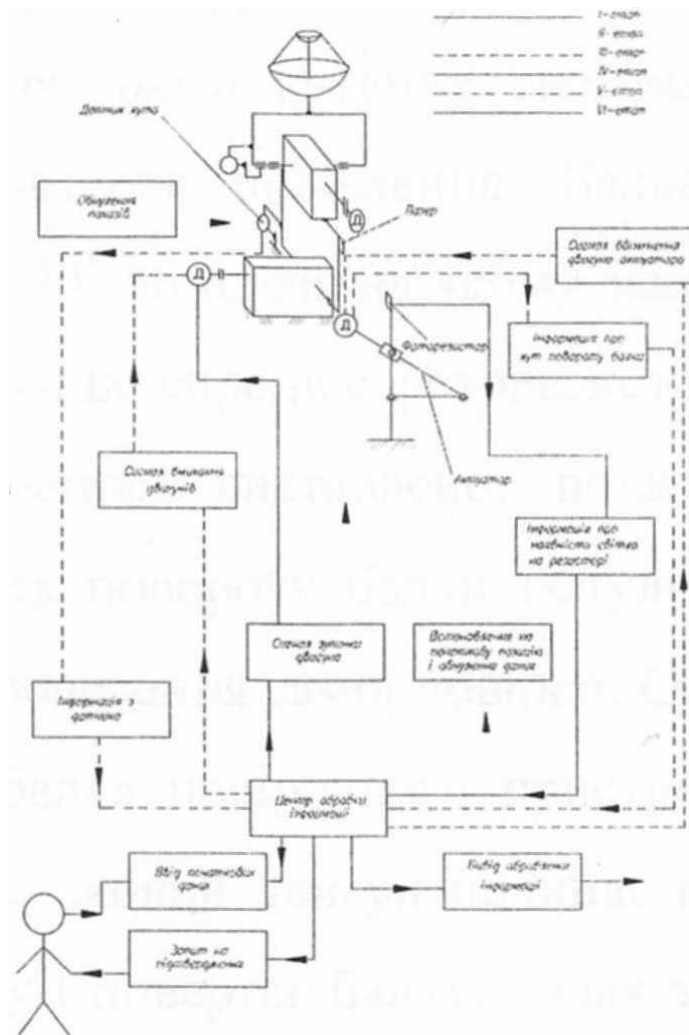


Рисунок 1.18 - Функціональна схема пристрою

Процес перевірки датчика кута в зборі з антенною системою АС-3 на нижній осі починається з встановлення повірочного пристрою на опорно-поворотний пристрій антени. Він закріплюється на передній стінці тумби ОПП чотирма болтами. Оскільки поверхня, на якій кріпимо пристрій, може бути не перпендикулярною до нижньої осі, то ми виставляємо його

точно положення до осі за допомогою набору пластин різної товщини, які мають спеціальні отвори, щоб закріпити їх на болтах. Наступним етапом мивиставляємо співвісність осі вала пристрою для перевірки і осі нижнього вала установки. Вона виставляється за допомогою двох направляючих вертикальної і горизонтальної). Детальніше про виставлення співвісності буде описано в наступних пунктах. Щоб промінь від лазера попав на світлочутливий елемент фоторезистора ми здійснюємо ще одну операцію. Ця операція здійснюється за допомогою направляючих на яких закріплений фоторезистор. Відпустивши два гвинти, якими його закріплено, ми переміщуємо каретку з резистором в потрібному напрямку, після чого знову затягуємо гвинти.

Після цього антенна система і пристрій для перевірки встановлюються в початкове положення. Балка пристрою розміщується вертикально (під кутом 90° до плеча на якому закріплено актуатор), а антена рухається до тих пір поки не спрацює фоторезистор під дією променя лазера. Коли початкове положення виставлено, покази датчика кута антенної установки і покази кута повороту балки обнулюються. Після цього наша установка готова для проведення самої перевірки. Оператор вказує кут, на який повинна повернутися балка повірочного пристрою (еталонний кут). Після підтвердження вводу, кроковий двигун починає повертати гвинт актуатора, який переміщує каретку і повертає балку. На данному актуаторі встановлена оптична лінійка, за допомогою якої ми зможемо перевірити точність повороту балки на потрібний кут, адже як відомо кроковий двигун може пропускати кроки, що приведе до неточності приведення еталонного кута і в результаті ми отримаємо неправдиві дані. Після зупинки двигуна актуатора, вмикається двигун опорно-поворотного пристрою, який повертає антену в тому ж напрямку, в якому рухалась балка. Обертання відбувається до тих пір, поки не поступить сигнал від фоторезистора про наявність променя від лазера на світлочутливому елементі. Цей сигнал автоматично вмикає двигун ОПП. В той же момент, коли промінь лазера і світлочутливий елемент

перетнулись, з датчика кута знімаються дані, бо наша антенна система має досить великі габарити, а отже і інерцію, що приведе до невеликого руху антени після зупинки двигунів, що приведе до хибних даних. Процес порівнювання відбувається в центрі обробки інформації, яким може бути ПК, КПК, або інший спеціалізований пристрій. Для достовірності даних процес перевірки проводимо кілька разів, а дані, які будуть виводитись на дисплей являтимуться статистичними. Позитивними якостями такого способу перевірки є те, що ми зможемо з отриманих даних врахувати не тільки похибку самого датчика кута, але й похибку створену деформаціями в самій антенній системі, а також зазорами в її кінематичному ланцюгові.

2.4.2 Опис системи встановлення співвісності валів ОПП і установки

Важливою частиною перевірки точності датчика кута АС-3 є встановлення співвісності між нижнім валом опорно-поворотного пристрою і валом повірочної установки. Це необхідно для того, щоб лазер разом з антеною і фоторезистор з балкою рухалися по паралельних траєкторіях, бо коли траєкторії не співпадуть, то промінь лазера так і не перетне світлочутливий елемент фото резистора і весь процес перевірки не матиме результату. Оскільки це питання є дуже важливим, то ми на нашій установці передбачили цілу систему встановлення співвісності, яка складається з трьох основних частин.

Першою частиною являється блок напрямних, який кріпиться до основи і виконує функції переміщень всієї установки і встановлення її в найбільш оптимальніше положення (мається на увазі співвісність). Рисунок 1.19 відображає будову блоку напрямних.

На цьому рисунку зображено вигляд блоку напрямних зверху і в розрізі. З даного рисунку можна побачити, що ця конструкція складається з трьох пластин, на яких знаходяться елементи напрямних «ластівки хвіст». Ці напрямні розміщені паралельно одна одній. Точність таких напрямних

характеризується зазором між їх деталями, тож конструктивно передбачено на кожній з напрямних по два клини, які за допомогою шпильок регулюють зазор між її частинами. Цей процес відбувається так, після складання напрямної відпускаємо гайки на шпильках, які виконують роль певних штопорів після чого за допомогою викрутки вкручуємо шпильку всередину пластини час від часу перевіряючи чи не зажата напрямна, коли ми виставили оптимальний зазор затягуємо гайки на місце, щоб шпильки не відпускались. Цю операцію здійснюємо з обох сторін напрямної. Для забезпечення легкості і плавності руху напрямної в своєму корпусі ми змащуємо її рухомі частини літолом.

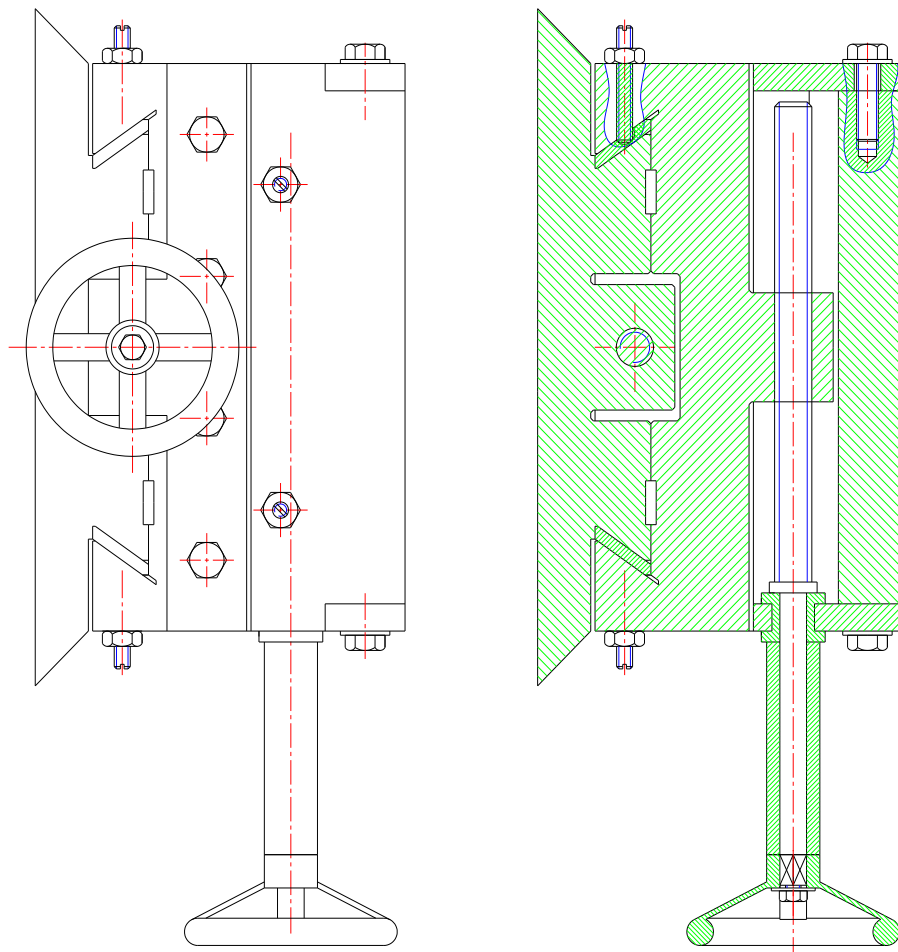


Рисунок 1.19 - Будова блоку напрямних

Для забезпечення плавного, рівномірного і точного переміщення напрямних, в їх конструкцію вмонтовано гвинтову передачу. Це вал з різьбою однією частиною закріплений в пластині (що кріпиться на плиті

напрямної чотирма болтами) за допомогою двох втулок, а різьба обертається в іншій частині напрямної. Що приводить до руху однієї плити відносно іншої. На вільному кінці вала прикріплено вентель, за допомогою якого оператор зможе з легкістю управляти направляючими. Діапазон дії цих направляючих становить 650 мм в одну сторону від середнього положення по кожній з двох осей.

Другою важливою частиною, яка входить до складу системи встановлення повірки є окуляр. Його будова наведена на рис.2.2.

В основі будови окуляра лежить оптична схема Галілея (рис.4.3). Світло від лампочки, яка кріпиться на текстолітовій пластинці всередині корпусу, попадає на збиральну лінзу, що теж закріплена в корпусі, там воно збирається в пучок в фокусі лінзи. Перед фокусом збиральної лінзи ми ставимо розсіювальну лінзу, яка створює нам пучок паралельних променів такого діаметру, що й промені що впали на неї.

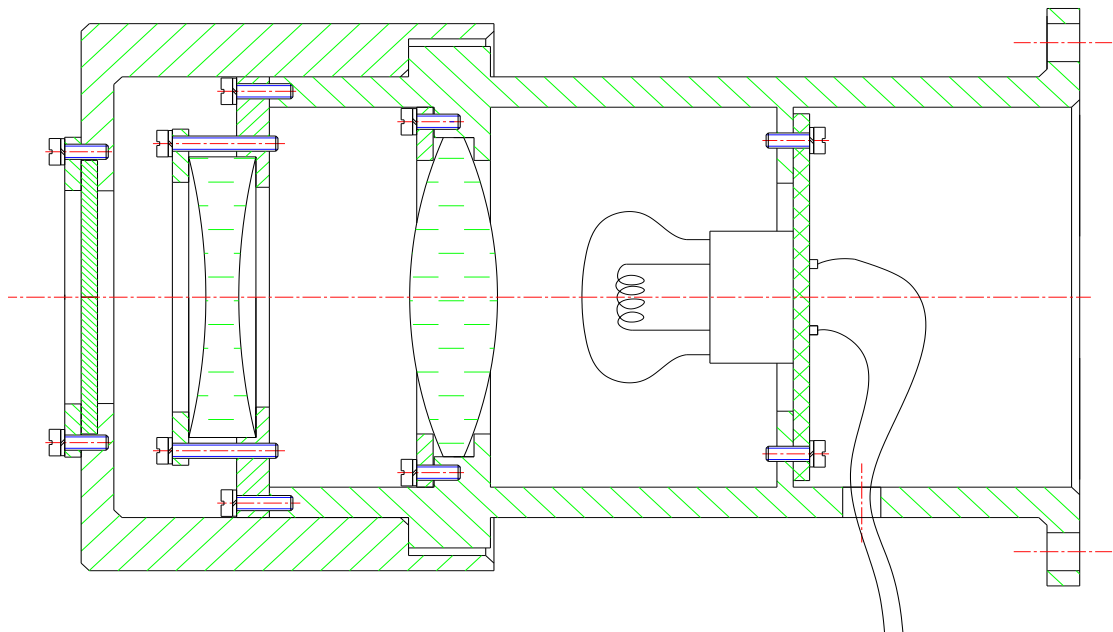


Рисунок 2.2 - Будова окуляра

На ковпаку, який надівається на корпус з досить маленьким зазором і може обертатись на 90° , прикріплена оптична щілина прямокутної форми $50\text{мм}\times 20\text{мм}$. В корпусі є отвір для підведення живлення до лампочки.

система Галілея

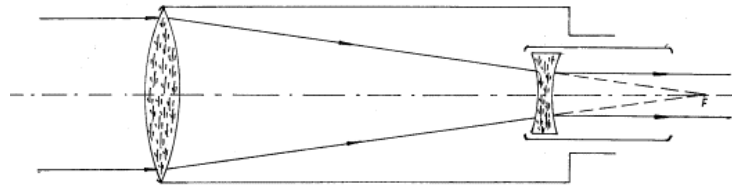


Рисунок 1.21 - Система Галілея

Третя частина це блок фото резистора (рис.1.22).В ньому всередині приклеєний фоторезистор СФ2-8 з діаметром світлочутливого елемента 5,8мм. На передній кришці блоку є щілина, яка співвісна з розточкою Ø54мм, і має діаметр 20мм. Зверху на корпус прикріплена шкала з білим покриттям.

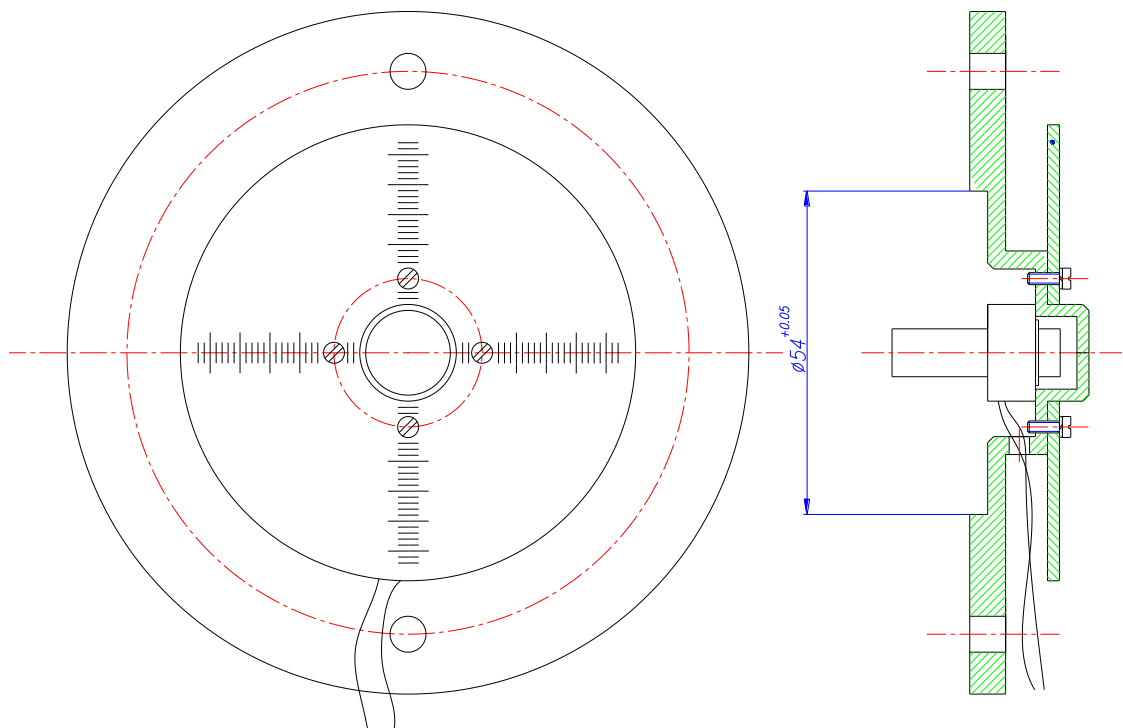


Рисунок 1.22 - Блок фото резистора

Встановлення співвісності валів ОПП і установки відбувається після закріплення і регулювання вертикального положення установки. Замість датчика кута встановлюємо блок фото резистора, який базується відносно

фланця вала ОПП по виступу на ньому і прикріплюється двома болтами. Після закріплення ми повертаємо щілину на окулярі в горизонтальне положення і вмикаємо лампочку. Тепер ми отримали на шкалі блоку фоторезистора смужку світла. За допомогою вентеля на вертикально розміщеному валі рухаємо цю смужку в напрямку до центру шкали до тих пір, поки не засвітиться індикатор, що сигналізує попадання світла з окуляра на фотоелемент. Тепер ми акуратно, не міняючи положення частин установки, повертаємо ковпак з щілиною у вертикальне положення (на 90°). І тепер за допомогою вентиля на горизонтальному валі рухаємо смужку до центру, поки не загориться індикатор. Після цього наші вали матимуть співвісність з точністю максимум 20мкм.

По завершенні операції по встановленні співвісності ми знімаємо блок фото резистора і прикріплюємо датчик кута як вказано на складальному кресленні. Після чого продовжуємо перевірку датчика.

2.4.3 Розрахунок точності установки

Точність цього пристрою залежить від багатьох факторів. Таким фактором як деформація ми знехтуємо, оскільки наша конструкція виготовлена з урахуванням цієї умови. Деформації в кріпленні також знехтуємо, бо конструкція несе невеликі статичні навантаження і в результаті цього деформація, яка виникне від статичних навантажень буде постійною і врахується при базуванні приладу. Тож потрібно врахувати похибку наведення лазера на фоторезистор і похибку переміщення каретки актуатора.

Тобто наша похибка обчислюватиметься за формулою:

$$\Delta\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (4)$$

де φ_1 — похибка від наведення лазера;

φ_2 — похибка переміщення каретки актуатора.

За даними про актуатора ми знаємо, що похибка його позиціонування складає всього 0,035мм. Тепер переведемо цю похибку в кут, з урахуванням відстані від актуатора до осі 250мм:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{0.0175}{250} = 0.005'$$

Похибка наведення лазера рахується з урахуванням товщини світлочутливого елемента фоторезистора 0,35мм, а відстань від фоторезистора до осі 400мм.

$$\varphi_1 = \arctg \frac{0.175}{400} = 0.042'$$

Звідси, загальна похибка цього пристрою дорівнюватиме:

$$\Delta\varphi = 0.005' + 0.042' = 0.047' = 2.82''$$

Також на похибку цього пристрою буде впливати чіткість роботи двигуна, адже крокові двигуни можуть пропускати кроки.

2.5 Опис і будова приладу повірки датчика кута верхньої осі антенної системи АС—3

Принцип дії даної установки схожий до принципу дії попереднього пристрою, але цього разу ми використовуємо уже заздалегідь задані еталонні кути, а не змінний кут, який ми створювали за допомогою актуатора.

Так як і в попередньому випадку, наш повірочний пристрій складається з двох частин:

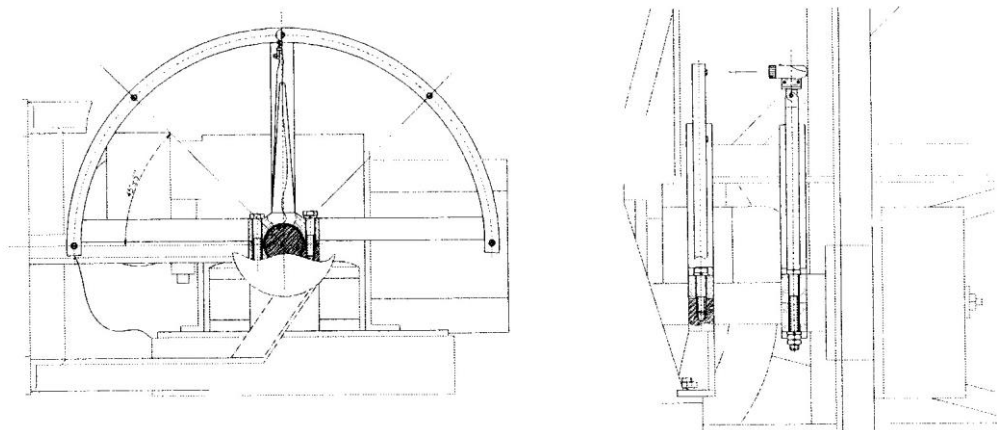
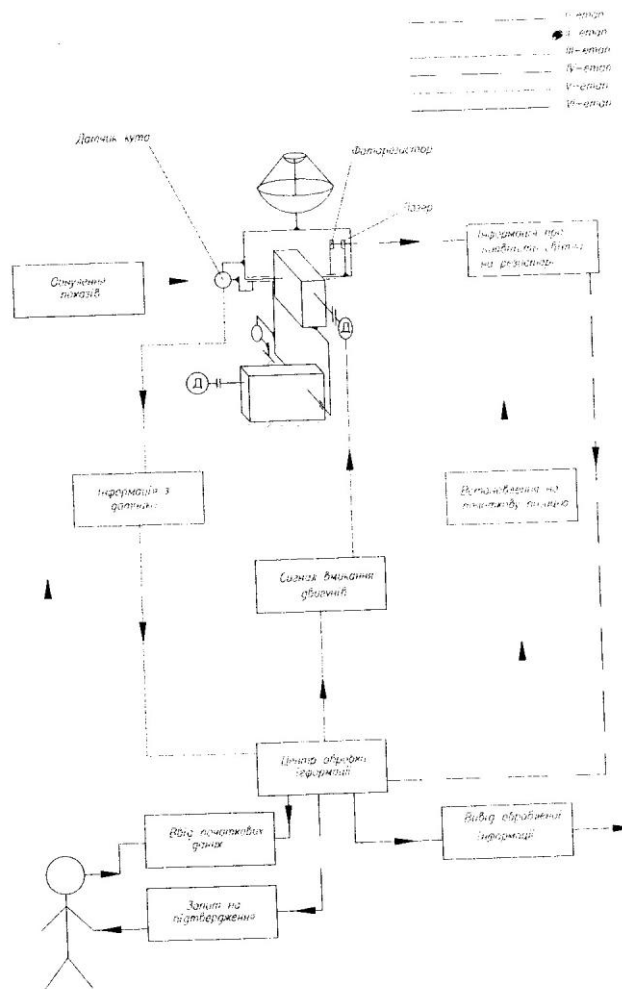


Рисунок 1.23 — Прилад для перевірки точності датчика кута по верхній осі

- сектора з еталонними кутами;
- стрілки з лазером.

Для виготовлення конструкції установки ми використовуємо леговану сталь для забезпечення високої жорсткості сектора і стрілки. Розміри сектора підібрані так, щоб він не заважав руху антени, але й в свою чергу мав достатній радіус, щоб забезпечити відповідну точність, сектор закріплюється між віссю і перехідною опорою антени. Сам сектор закріплюється на валі рухомо, тобто вал в ньому прокручується. Сектор кріпиться на місці верхньої кришки додаткової опори вала, тому станина його має форму цієї кришки. До станини приварюють три кронштейни, які утримують сам сектор. Ці кронштейни розміщені в одній площині, між ними утворюється кут 90° , що забезпечити надійність закріплення сектора. Самі кронштейни відливаються разом з ребрами жорсткості, щоб не було суттєвих деформацій, які привели б до скручення форми сектора. До кронштейнів приварюється сектор. Його форма повинна бути ідеальною, бо від цього залежить точність розміщення

еталонних кутів. Це забезпечується товщиною сектора, тобто його конструкція є жорсткою завдяки великій площі поперечного січення. На самому секторі розміщується 5 фоторезисторів. Ці фоторезистори утворюють чотири еталонних кути. Вони розміщені через 45° , тобто покривають діапазон в 180° . Друга частина установки (стрілка) виготовляється з того ж матеріалу, що й сектор. Для забезпечення жорсткості стрілка відливається з ребрами жорсткості. На стрілці закріплюємо лазер. Він закріплюється на рухомій платформі задля направлення його на фоторезистор. Лазер і фоторезистори ми беремо ті ж, що й в попередній установці.



Процес перевірки датчика кута на верхній осі відрізняється від процесу перевірки на нижній осі, тому що в нас вже є готові еталонні кути. Отже перш

за все ми встановлюємо нашу установку на верхній вал ОПП. Сектор ми встановлюємо замість верхньої кришки додатково опори вала з лівої сторони від редуктора. Ми його закріплюємо двома болтами, між ним і валом знаходиться втулка. Для того, щоб зменшити шат сектора на валу ми затягуємо болти, тим самим вибираємо зазор між станиною сектора і поверхнею вала, але в той же момент ми повинні забезпечити безперешкодний і плавний обертовий рух вала в отворі між опорою і редуктором. Після закріплення сектора ми повинні закріпити стрілку з лазером. Вона закріплюється нерухомо з валом, для того, щоб повторювати його обертові рухи. Стрілка закріплюється так же само як і сектор, але затягується намертво. Кріпиться вона лівіше від сектора, щоб мати достатньо місця для руху. Перед тим як затягнути болти на кріпленні стрілки ми виставляємо прямо на перший фоторезистор. По висоті лазер виставляється за допомогою болта на направляючій. Після встановлення початкової позиції ми починаємо процес повірки. Спочатку обнулюються дані на датчику кута антенної системи. Після цього починає рухатись антена, поки не дійде до наступного фоторезистора, після чого двигун автоматично вимикається. З датчика знімаються дані і порівнюються з відомим кутом. Цей процес повторюємо ще три рази, а в кінці виводяться сумарні результати повірки.

Використання двох різних способів повірки пояснюється тим, що на нижній осі бракує місця для закріплення сектора, а на верхній частині проміжної рами бракує місця для закріплення установки з актуатором.

2.5.1 Розрахунок точності пристрою для повірки по верхній осі

Цей пристрій досить точним, бо всі його компоненти є жорсткими, стійкими до деформацій. Також точність забезпечена тим, що в цьому пристрої відсутні рухомі деталі і ланки. Його точність залежить тільки від базування пристрою і від точності наведення променя лазера на світлочутливий елемент фоторезистора. Базування пристрою відбувається за

рахунок затягування болтів, але ми залишити мінімальний зазор для того, щоб вал зміг провертатися в кріпленні. За рахунок цього зазору може відбутися невеликий крен сектора (на кілька секунд), але оскільки сектор нерухомий, то цей крен не буде змінюватися. Тому ми зможемо ліквідувати цю похибку за допомогою лазера. Тоді залишається тільки похибка від і введення лазера, яка обчислюється з урахуванням товщини резистора (0,35мм) і відстані від осі до фоторезистора (360мм).

$$\Delta\varphi = \operatorname{arctg} \frac{0.175}{360} = 0.03' = 1.8''.$$

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

3.1.1 Основні визначення САПР

В теперішній час інженерна діяльність тісно пов'язана з використанням персональних комп'ютерів і мікропроцесорів. Останнім часом в інженерній практиці обчислювальна техніка широко застосовувалась для проведення розрахунків, автоматизації проектування, організації і планування експериментальних дослідів, для обробки результатів випробування машин, механізмів, апаратів і в багатьох інших цілях. Сучасному інженеру важко обійтись без засобів САПР.

Термін САПР (система автоматичного проектування), в англійському трактуванні CAD, з'явився наприкінці 50-х років, коли Д. Т. Росс почав працювати над однойменним проектом в Масачусетському технологічному інституті. За останні 25 років САПР, як системи геометричного моделювання зазнали значного удосконалення: з'явилися засоби 3D-поверхневого і твердотільного проектування, параметричного конструювання, був покращений інтерфейс. Розвиток CAD-систем вимагав більш потужних апаратних засобів, тому це сприяло стрімкому розвитку комп'ютерної техніки. Паралельно з розвитком комп'ютерної техніки знижувалась ціна на програмне забезпечення, тому засоби САПР ставали все доступнішими, але масовим продуктом стали лиш тоді, коли компанія Autodesk розробила пакет AutoCad, правда в ті часи ПК були 16-розрядними, і їх потужності вистачало лише для двовимірних побудов – креслення і створення ескізів, однак це не завадило новинці набути широкої популярності серед користувачів.

За визначенням, САПР – це організаційно-технічна система, що складається з сукупності комплексу засобів автоматизації проектування і

колективу фахівців підрозділів проектної організації, виконує автоматизоване проектування об'єкту, яке є результатом діяльності проектної організації.

З цього визначення виходить, що САПР – це не засіб автоматизації, а система діяльності людей по проектуванню об'єктів. Тому автоматизація проектування як науково-технічна дисципліна відрізняється від звичайного використання ЕОМ в процесах проектування тим, що в ній розглядаються питання побудови системи, а не сукупність окремих завдань. Ця дисципліна є методологічною, оскільки вона узагальнює риси, що є загальними для різних конкретних застосувань.

Ідеальна схема функціонування САПР представлена на рис.5.1

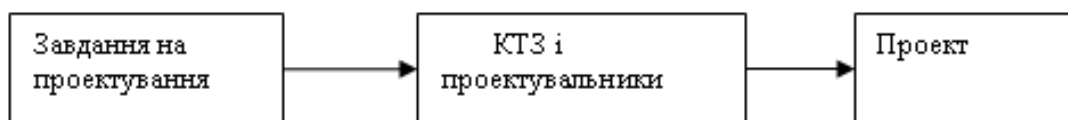


Рисунок 5.1 - Схема функціонування САПР

КТЗ - комплекс технічних засобів.

Проектувальники, як впливає з визначення, відносяться до САПР. Це твердження цілком правдиве, оскільки САПР - це система автоматизованого, а не автоматичного проектування. Це означає, що частина операцій проектування може і завжди виконуватиметься людиною. При цьому в досконаліших системах частка робіт, що виконуються людиною, буде менша, але зміст цих робіт буде більш творчим, а роль людини в більшості випадків - відповідальнішою. З визначення САПР виходить, що метою її функціонування є проектування.

Кінцевий продукт проектування, що містить дані про об'єкт, і технологію його створення називають "проектом".

Проектування - це один з найбільш складних видів інтелектуальної діяльності, що виконується людиною. Більш того, процес проектування складних об'єктів не під силу одній людині і виконується колективом. Це, у свою чергу,

робить даний процес ще складнішим. Для автоматизації цього процесу необхідно чітко знати, що він насправді собою являє і як виконується розробниками. Досвід свідчить, що вивчення процесів проектування є досить складним, тому автоматизація проектування здійснювалася поетапно, охоплюючи послідовно все нові проектні операції. Відповідно, поетапно створювалися нові і удосконалювалися старі системи. Якщо система розбита на багато частин, то важко правильно сформулювати початкові дані для кожної частини. Але в такому випадку стає легше провести оптимізацію.

Людина може проектувати будинок, машину, технологічний процес, промисловий виріб. Такі ж об'єкти покликана проектувати САПР. При цьому розділяють САПР виробу (САПР В) і САПР технологічних процесів (САПР ТП).

У виробничій практиці об'єктом автоматизації проектування є вся сукупність дій проектувальників, які розробляють виріб або технологічний процес, оформляють результати у вигляді конструкторської, технологічної і експлуатаційної документації.

3.2 Опис структурної схеми системи керування опорно-поворотним пристроєм системи антенної АС-3

Для наглядності будемо користуватись схемою, представленою графічно на форматі А1 «Система керування. Структурна схема». Дана система керування складається з наступних блоків: блоку управління СКА, Блоку датчиків кута повороту, блоку асинхронних двигунів приводу, блоку кінцевих вимикачів, блоку комутації ОПП, а також живлення 220В, персонального комп'ютера оператора, інформаційного і силового каналів, інтерфейсів RS232 і RS485.

Центральним керуючим елементом системи керування є блок керування СКА, керуючим органом якого, є мікроконтролер на базі x51 архітектури із інтегрованим АЦП – ADUC841. Основною задачею МК (Мікроконтролера) є забезпечення коректної роботи всіх вузлів установки, а також своєчасне і адекватне реагування на всі події, які будуть виникати в процесі роботи. Також сюди слід віднести програмне забезпечення мікроконтролера. Структурна схема

мікроконтролера наведена на рис. 3.2. Мікросхема складається із двох основних частин – аналогової і цифрової.

Аналогові входи мікросхеми сполучені з 8-входовим мультиплексором. На виході мультиплексора стоїть підсилювач вибірки/зберігання, що фіксує значення аналогового сигналу на вибраному вході на час здійснення перетворення АЦП. Крім нього, до аналогової частини мікросхеми відносяться також два 12-розрядних ЦАП з буферними підсилювачами на виході кожного з них.

Джерело опорної напруги може використовуватися або внутрішнє, напругою 2,5 В і температурною стабільністю 40 ppm/°C, або зовнішнє, напруга якого не перевищує рівень джерела живлення. Також до вхідного мультиплексора підключений внутрішній датчик температури, що дозволяє оперативно вимірювати температуру кристала (а значить, з певними поправками, і температуру навколишнього середовища), що дозволяє, наприклад, здійснювати компенсацію температури холодної спайки термопар, приєднаних до одного або декількох входів мікросхеми. На аналогові входи допустима подача сигналів в діапазоні від 0 до Vref.

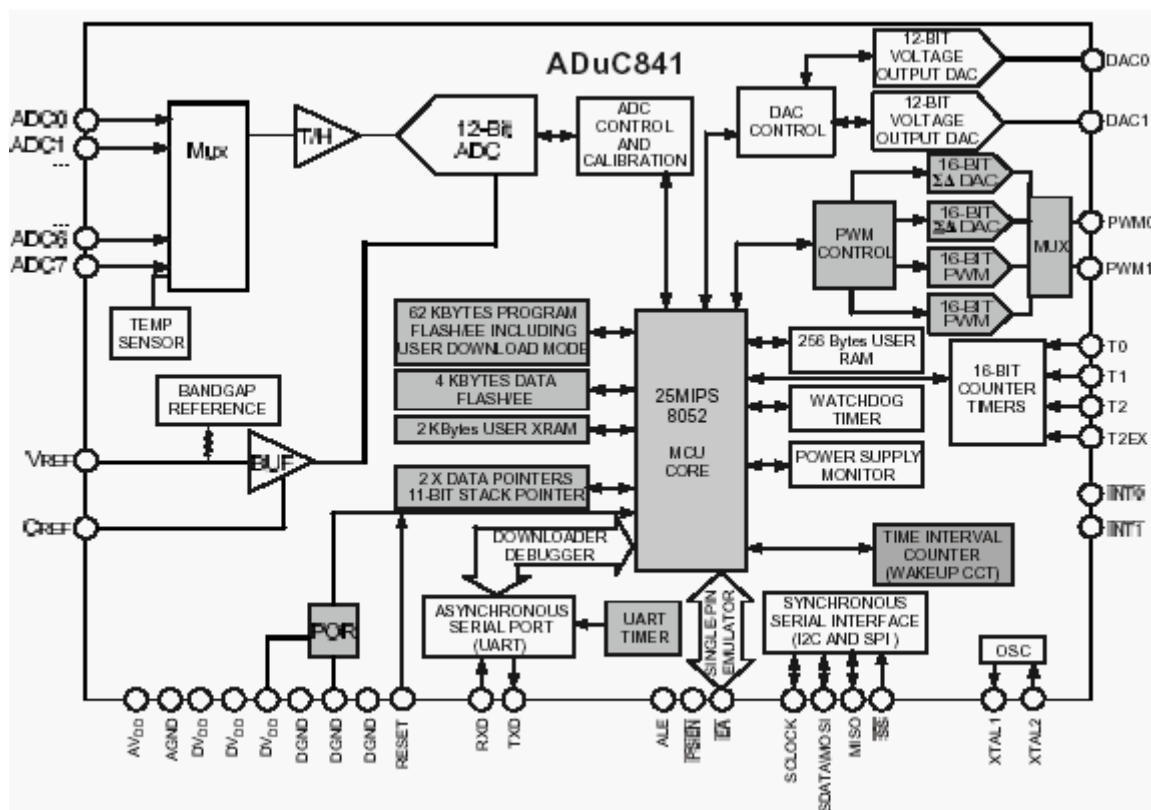


Рисунок 5.4 – Структурна схема мікроконтролера ADUC841

Інтерфейсом між аналоговою і цифровою частинами мікросхеми служать регістри управління і калібрування. Цифрова частина складається з власне ядра мікроконтролера, повністю сумісного за системою команд з найбільш широко поширеними в світі мікроконтролерами серії 8051, блоку пам'яті і набору додаткових периферійних пристроїв. Мікросхема AduC841 може живитися від джерела напругою 3 або 5 В і має декілька економічних режимів роботи.

АЦП може працювати як в режимі одиничних, так і безперервних перетворень з максимальною швидкістю 200 тисяч перетворень в секунду (одне перетворення кожні 5 мкс). Для запам'ятовування результатів перетворення використовується або режим переривань (як правило, його зручно використовувати при невисокій частоті роботи АЦП), або режим прямого доступу, що не впливає на роботу контролера і що дозволяє зберігати результати перетворення в зовнішньому ОЗУ ємністю 16 Мбайт. АЦП має дуже високу точність (співвідношення сигнал/шум 70 дБ, що відповідає реальному дозволу на рівні 11,5 розрядів) і високу лінійність. Всі режими роботи АЦП визначаються трьома регістрами управління, що знаходяться у внутрішній пам'яті мікроконтролера. Результати перетворення можуть бути зчитані з двох регістрів, один з яких показує номер каналу мультиплексора і старші 4 біта результату, а другий — молодші 8 біт результату.

ЦАП керуються одним регістром управління і чотирма регістрами даних. Оновлення інформації на виході ЦАП може відбуватися окремо для кожного з них, або одночасно. Крім того, кожний з них може бути конфігурований для роботи або в 12-розрядному, або 8-розрядному режимах.

Блок пам'яті складається з флеш-пам'яті програм об'ємом 8 кбайт, флеш-пам'яті даних об'ємом 640 байт і ОЗУ об'ємом 256 байт. Інформація у внутрішню флеш-пам'ять програм може бути записана як з будь-якого зовнішнього програматора в «паралельному» режимі через порти мікроконтролера, так і безпосередньо в системі в «послідовному» режимі через стандартний асинхронний послідовний порт.

До блоку розширеної периферії можна віднести додаткові апаратні можливості мікросхеми, відсутні в оригінальній архітектурі 8051. Це додаткові послідовні порти, що дають мікросхемі можливість роботи в 2-провідних і 3-провідних синхронних протоколах SPI, що стали стандартними, і I2C.

Також мікросхема доповнена двома моніторами, один з яких стежить за відсутністю «зависання» мікроконтролера, і у разі виявлення його виробляє сигнал скидання в початковий стан, а другий стежить за тим, щоб напруга джерела живлення не падала нижче визначеного значення, що задається користувачем (від 2,6 до 4,6 В). Дозволяє у випадку, близькому до втрати живлення, зберегти вміст внутрішніх регістрів, запам'ятати свій стан і відновити роботу тільки після відновлення живлення.

Блок датчиків кута повороту служить для фіксації точності відтворення траєкторії слідування опорно – поворотного пристрою. До його складу входять два опто-електронних датчики моделі M600, розрядністю 3600 біт/360°.

Блок асинхронних двигунів містить в собі два асинхронних двигуни NVR, потужністю 750 Вт, призначений для приведення в рух валів опорно-поворотного пристрою.

Блок гальм служить для раптової зупинки ланок опорно-поворотного пристрою після отримання відповідного сигналу від блоку керування СКА.

Блок кінцевих вимикачів містить у собі два аварійних і чотири робочих вимикачі. Робочі кінцеві вимикачі призначені для вимкнення живлення двигунів, при досягненні ланками опорно-поворотного пристрою крайніх точок. Аварійні вимикачі служать для екстренного вимкнення живлення.

Моніторинг роботи системи ведеться оператором з допомогою ПЕОМ, на якій встановлено відповідне програмне забезпечення.

5.4 Технічні характеристики мікроконтролера AduC841

Параметри ядра:

Тип ядра: 8052

Розрядність ядра: 8bit

Тактова частота ядра: 16MHz

Продуктивність: 1MIPS

Число портів вводу/виводу загального призначення: 34шт.

Сторожовий таймер: присутній

T_{роб.}: -40...85°C

Тип корпусу: LFCSP-56

Орієнтовна ціна: від 8 до 9USD

Параметри пам'яті:

Об'єм Flash-пам'яті: 8kB

Об'єм RAM-пам'яті: 256B

Прямий доступ до пам'яті: 1канал

Параметри живлення :

Напруга живлення ядра: 2.7...5.5V

Напруга живлення: 2.7...5.5V

Струм споживання в активному режимі: 8мкА

Струм в режимі низького енергоспоживання: 5мкА

Параметри аналогової частини:

АЦП, розрядність: 12бит

АЦП, кількість входів: 8шт.

АЦП, швидкість: 200kSPS

ЦАП, розрядність: 12бит

ЦАП, кількість виходів: 2шт.

Параметри периферії:

UART, число каналів: 1шт.

SPI, число каналів: 1шт.

I2C, число каналів: 1 (2-Wire) шт.

Параметри таймерів:

16-бітний таймер: 3шт.

Інші параметри:

Виробник : Analog Device

TAG: ADUC8SCORE

Таким чином характеристики мікроконтролера ADUC812 цілком задовольняють наші потреби, а саме:

- наявність інтегрованого АЦП високої розрядності і точності;
- задовольняються вимоги по продуктивності;
- низька ціна.

4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Математичні моделі наземних АУ як об'єктів управління

Під час спостереження за космічними об'єктами металоконструкції ОПП і механізмів наведення АУ представляють собою частину великої динамічної системи. Через це проектування САУ наземними АУ повинно проводитись з урахуванням динамічних характеристик механічної частини АУ, тому що вона здійснює великий вплив на правильність роботи САУ в загальному. Елементи металоконструкції ОПП і кінематичних ліній зубчастих передач силових редукторів мають значну механічну слабкість, рухомі частини — великий момент інерції, причому вся система знаходиться під впливом вітрових навантажень. Через це перед тим як починати проектування САУ наземних АУ, необхідно створити систему, яка б найповніше відображала особливості реальної АУ і дослідити її характеристики як об'єкта управління.

Точність визначення динамічних характеристик і якість роботи САУ в цілому буде залежати від того, на скільки точно математична модель відображає реальні властивості ОУ.

Сучасні АУ являють собою складну просторову механічну систему з безкінечно великою кількістю ступенів вільності, під якими розуміють число незалежних величин, що визначають положення всіх матеріальних точок механічної системи в просторі в будь-який момент часу. Але на практиці достатньо обмежитись врахуванням кінцевого числа ступенів свободи. Це досягають шляхом схематизації або ідеалізації реальної конструкції АУ.

При створенні моделей АУ із зосередженими параметрами вважають, що найлегші елементи позбавленні маси і володіють тільки пружними властивостями; порівняно жорсткі елементи конструкції вважають абсолютно жорсткими і надають їм тільки інерційні властивості; окремі частини АУ представляють як матеріальні точки. Також вважають, що абстрагована демпферуюча сила створена тільки відносною швидкістю частин, що труться, і не залежить від маси і пружності.

Приведення реальної конструкції АУ до багатомасової моделі з зведеними параметрами дозволяє звести задачу дослідження її динамічних характеристик до розв'язання систем диференціальних рівнянь. Диференціальні рівняння руху будь-якої маси мають наступний вигляд:

$$m_i \theta_i + \sum_{k=1}^n r_{ik} \theta_k + \sum_{j=1}^n s_{ij} \dot{\theta}_j = F_i ,$$

де m_i – i -та зосереджена маса; θ_i – переміщення i -ої маси; r_{ik} – коефіцієнт впливу жорсткості, що характеризує еквівалентну жорсткість в i -ій точці конструкції при створенні ідеального прогину в її k -ій точці; s_{ij} – коефіцієнт впливу демпфування реакції в i -ій точці при створенні одиничної швидкості в j -ій точці; F_i – зовнішнє навантаження, що діє на i -ту масу в напрямку її переміщення.

Записана формула вказує, що всі елементи в'язкого опору моделі прикріплені до мас системи. Якщо крім зосереджених мас до конструкції АУ входять ще й тверді тіла, то кут їх повороту також можна позначати через θ_i . В таких випадках під m розуміють момент інерції I_i відносно осей навколо яких відбувається обертання. Суми в цій формулі являються силами, що діють на дану масу, але взяті вони з протилежним знаком. Досить часто таке рівняння складають використовуючи рівняння Лагранжа другого роду і користуються матричним способом запису:

$$M\ddot{\theta} + D\dot{\theta} + C\theta = F ,$$

де M – матриця мас; D – матриця демпфування; C – матриця жорсткості; F – матриця зовнішніх впливів.

На основі аналізу власних форм коливань складної багатомасової просторової моделі АУ намагаємось розкласти її на плоскі моделі, які враховують динаміку АУ в різних площинах. Це вдається, тому що власні коливання різних частин АУ в різних площинах не зв'язані між собою.

Динаміка коливань АУ в азимутальній площині описуються наступними формулами:

$$\begin{aligned}
M_D - M_P &= I_D \ddot{\theta}_D, \\
M_P &= (\theta_D - \theta_{OPV}) c_P + (\theta_D - \theta_{OPV}) \mu_P, \\
M_P - M_{OPV} &= I_{OPV} \ddot{\theta}_{OPV}, \\
M_{OPV} &= c_{OPV} (\theta_{OPV} - \theta) + \mu_{OPV} (\theta_{OPV} - \theta), \\
M_{OPV} - M_{II} - M_O - M_3 &= I \ddot{\theta}, \\
M_3 &= (\theta - \theta_3) c_3 + (\theta - \theta_3) \mu_3, \\
M_f - M_O &= I_3 \ddot{\theta}_3, \\
M_O &= (\theta - \theta_O) c_O + (\theta - \theta_O) \mu_O, \\
M_O &= I_O \ddot{\theta}_O, \\
M_{II} &= (\theta - \theta_{II}) c_{II} + (\theta - \theta_{II}) \mu_{II}, \\
M_{II} &= I_{II} \ddot{\theta}_{II},
\end{aligned}$$

де $\theta_D, \theta_P, \theta_{OPV}, \theta, \theta_3, \theta_O$ і θ_{II} , $M_D, M_P, M_{OPV}, M, M_3, M_O$ і M_{II} , $I_D, I_P, I_{OPV}, I, I_3, I_O$ і I_{II} – відповідно кути повороту, моменти кручення і моменти інерції відповідно двигуна, силового редуктора, ОПУ, виконавчої осі, опорних конструкцій дзеркала, противаг і контр рефлектора. Букви c і μ – означають жорсткість і коефіцієнт втрат на внутрішньому опорі і в'язкому терті відповідних частин. M_f – Момент зовнішнього впливу.

Керуючі моменти M_D розвиваються приводом АУ і передаються від виконавчого двигуна через силовий редуктор, що представляє собою складну багатозвеневу кінематичну лінію із зубчастих передач, які створюють велике передаточне число (рис. 1.1а). Коефіцієнти пружних деформацій c_1, c_2, \dots, c_f окремих ступенів редуктора і коефіцієнти втрат на внутрішній опір характеризують редуктор як пружно-в'язку механічну

систему. Замість заданої системи зручно використовувати систему без зубчастих коліс, яка зображена на рис. 1.1б, яку ми получили в результаті заміни кінематичної схеми зубчастих передач на приведену еквівалентну схему.

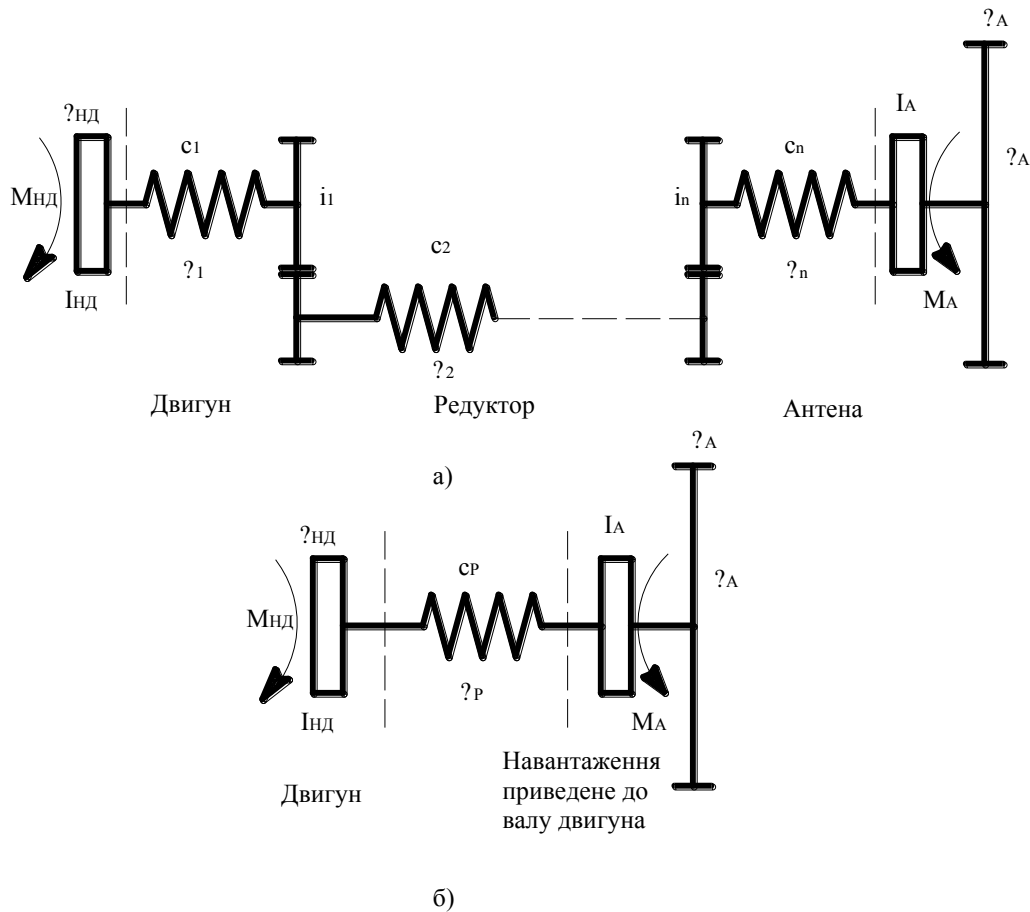


Рисунок 4.1 – Схема силового редуктора механізму наведення АУ:

а – кінематична схема; б – еквівалентна схема заміщення

Методика заміщення кінематичної схеми силових зубчастих передач еквівалентною приведеною схемою зводиться до розрахунку моментів інерції і жорсткості окремих ступенів силового редуктора. Параметри силової зубчастої передачі механізмів наведення задається наступним чином.

Приведена жорсткість механізму наведення, складеного з кінематичних ланок, розраховується за формулою:

$$c = \sum_{n=1}^n c_n / i_{n-1}^2 \eta^{n-1},$$

де c_n – крутна жорсткість n-ої кінематичної ланки; i_n – передаточне число від місця приведення до n-ої кінематичної ланки; η – коефіцієнт корисної дії передачі від місця приведення до n-ої кінематичної ланки.

Жорсткість силового редуктора дорівнює:

$$c_P = \frac{I_P G}{l_P} = \frac{\pi d^2 G}{32 l_P} = \pi G \left(\frac{d_1^2}{l_1} + \frac{d_2^2}{l_2} + \dots + \frac{d_n^2}{l_n} \right) / 32,$$

де I_P – полярний момент січення вала редуктора; d – діаметр вала; G – модуль пружності; l_1, l_2, \dots, l_n – довжини ступенів редуктора, що піддаються деформації.

Загальна довжина розподіленого вала силового редуктора можна обрахувати за наступною формулою:

$$l_P = l_1 + \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 l_2 + \left(\frac{d_1}{d_3} \right)^4 l_3 + \dots + \left(\frac{d_1}{d_n} \right)^4 l_n.$$

Сумарний приведений момент інерції механізму наведення розраховується за формулою:

$$I = \sum_{n=1}^n I_n / i_n^2 r_n.$$

де – I_n – масовий момент інерції n -ої кінематичної ланки.

Рівняння моментів пружної механічної передачі силового редуктора

після приведення його параметрів до валу двигуна записується наступним чином:

$$M_D = I_D \ddot{\theta}_D + \mu_P (\theta_D - \theta_{ОПУ}) + c_P (\theta_D - \theta_{ОПУ}).$$

З отриманих рівнянь ми можемо отримати вираз для передаточних функцій по управляючій і протидіючій роботі розглядуваної багатомасової механічної системи.

Враховуючи результати попередніх обрахунків ми можемо отримати математичний опис моделі механізму наведення нашої АУ. Наша АУ матиме таку спрощену фізичну модель:

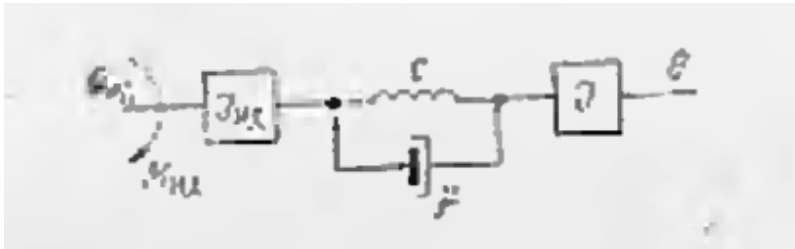


Рисунок 4.2 – Фізична модель АУ

Її структурна схема виглядатиме так:

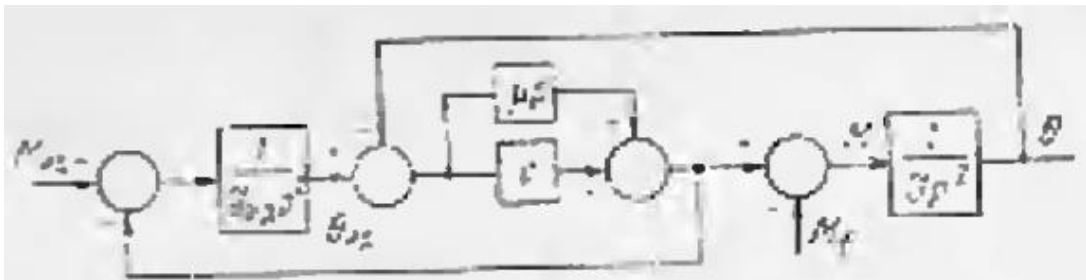


Рисунок 4.3 – Структурна схема АУ

Виходячи з цих даних і попередніх рівнянь ми можемо скласти диференціальні рівняння нашої АУ:

$$M_{нд} = I_{нд} \ddot{\theta}_{нд} + \mu(\dot{\theta}_{нд} - \dot{\theta}) + c(\theta_{нд} - \theta),$$

$$-M_f = I\ddot{\theta} - \mu(\dot{\theta}_{нд} - \dot{\theta}) - c(\theta_{нд} - \theta).$$

Математичний опис динамічних моделей АУ як об'єктів управління або представлення їх в вигляді еквівалентних структурних схем дозволяє вивчати динамічні характеристики АУ.

4.2 Динамічні характеристики наземних АУ

Для того, щоб проектування нашої САУ було раціональним і правильним, необхідно, щоб перед ним було проведене повноцінне і всебічне дослідження динамічних характеристик об'єкту управління.

В системах з зосередженими параметрами власні частоти знаходяться з розв'язання характеристичного рівняння без врахування дії зовнішніх сил. Для нашої моделі АУ вказаної вище це характеристичне рівняння матиме вигляд:

$$p^2 \left[p^4 + \left(\frac{I_D + I_{OPV}}{I_D I_{OPV}} c_P + \frac{I_3 + I_{OPV}}{I_3 I_{OPV}} c_{OPV} \right) p^2 + \frac{I_D + I_3 + I_{OPV}}{I_3 I_{OPV} I_D} c_P c_{OPV} \right] = 0.$$

Корені цього рівняння дають формули власних частот розглядуваної моделі:

$$\omega_{1,2} = 0;$$

$$\omega_{3,4} = \sqrt{d/2 + \sqrt{(d/2)^2 - q}}.$$

Чим точніший математичний опис АУ тим вищий порядок характеристичного рівняння і тим більше число власних частот буде характеризувати нашу модуль АУ. Диференціальні рівняння без врахування демпфірування матиме вигляд:

$$\theta_1^* = A_{1k} \sin(\omega_k t + \varphi_k),$$

$$\theta_2^* = A_{2k} \sin(\omega_k t + \varphi_k),$$

.....,

$$\theta_n^* = A_{nk} \sin(\omega_k t + \varphi_k).$$

Ці рівняння описують гармонічні коливання конструкції АУ з частотою ω_k .

Динамічні властивості АУ значно залежать від ступеня демпфування конструкції, який залежить від сил сухого і мокрого тертя. Рівняння вільних коливань стоек ОПП може мати вигляд:

$$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + \frac{EI}{\rho s} \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^3} + \frac{\xi I}{\rho s} \frac{\partial^5 y(x,t)}{\partial x^4 dt} = 0.$$

В рухомих частинах АУ є три види тертя: статичне, кулонове та в'язке. Характеристики статичного і кулонового тертя нелінійні і їх сили завжди направлені проти швидкості руху АУ (рис. 1.4). Лінійна характеристика в'язкого тертя така, що його величина пропорційна швидкості обертання АУ. Коефіцієнт демпфування, який визначається нахилом характеристики в'язкого тертя, показує степінь демпфування коливань конструкції АУ. Від дії моментів статичного і кулонового тертя зменшується точність роботи САУ і плавність наведення АУ на малих швидкостях. Великий вплив на плавність повороту АУ на малих швидкостях має люфт в зубчастих передачах.

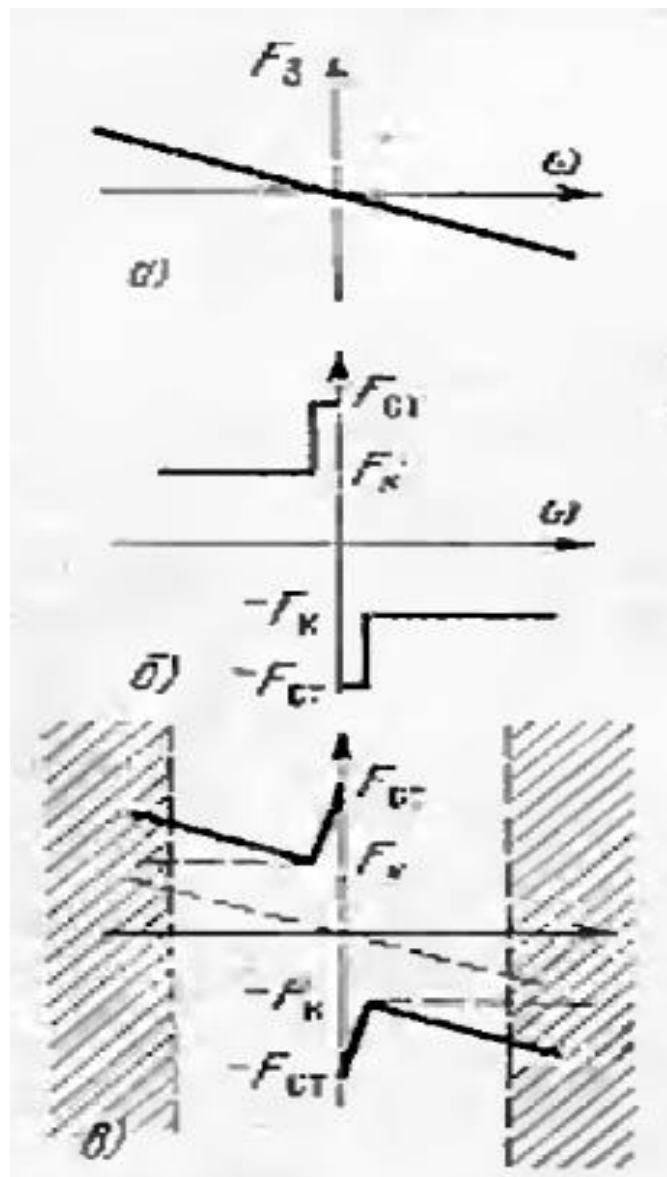


Рисунок 4.4 – Характеристики тертя в механізмах АУ

Реальні умови експлуатації наземних АУ характеризуються дією зовнішніх сил, що викликає коливання конструкції. В залежності від виду дії такі коливання можна поділити на:

- динамічні коливання конструкції АУ, які викликані роботою силових механізмів;
- аеродинамічні коливання конструкції АУ, викликані вітровими навантаженнями.

Частотні характеристики дають основну інформацію для визначення динамічних властивостей АУ. При наближенні частоти силових механізмів до власної частоти АУ настає резонансне явище, що приводить до незатухаючих коливань і в свою чергу до втрати стійкості. Навіть коли частота управляючих ланок набагато менша від власної частоти АУ причиною коливань АУ при дії моментів, які створюються силовим слідкуючим пристроєм, можуть служити перехідні процеси, особливо коли в механізмах є люфт.

Причиною аеродинамічних коливань АУ є перемінні складові вітрового навантаження, які викликані атмосферною турбулентністю. При вивченні аеродинамічних навантажень АУ розглядають:

- коливання дзеркала і всієї антенної системи як суцільного пружного тіла на суцільній основі;
- коливання і деформація самого дзеркала і елементів системи.

4.2.1 Точність наведення наземних антенних установок. Задача дослідження точності наведення і критерії роботи систем управління

Про якість САУ стверджують по тому, на скільки вона забезпечує виконання основної і кінцевої задачі. Загальною оцінкою роботи будь-якої САУ являється показник ефективності. Для кожного окремого об'єкту управління показник ефективності отримує свою кількісну вираження, після чого різні САУ можна порівняти по цьому показнику і заново проєктовані системи можна орієнтувати на досягнення максимального значення цих показників.

Показником ефективності керованих АУ являється абсолютне підсилення антени в певному діапазоні частот. Проблеми дальнього космічного зв'язку,

радіоастрономії і радіолокації планет Сонячної системи потребують створення великих керованих антен, в яких є велика ефективна площа і велике підсилення при роботі в сантиметровому діапазоні поля. Ширина діаграми направленості таких антен складає долі кутових хвилин. Щоб уникнути втрат в потенціалі радіоліній АУ наводити потрібно таким чином, щоб робота її відбувалась в достатній близькості до максимуму діаграми направленості антени (ДНА). Зменшення рівня прийманих сигналів буде залежати від наступних факторів:

- величина зміщення робочої точки від максимуму ДНА, тобто від сумарної динамічної помилки наведення АУ в картинній площині, яку має система управління, і геометричної форми пелюстки ДНА;
- величини відхилення осі ДНА і зменшення підсилення антени за рахунок деформації дзеркальної системи.

Показник ефективності роботи керованих АУ залежить від сумарної точності, з якою виконується наведення АУ, тому критерієм якості роботи САУ наземних АУ служить сумарна помилка наведення, яка являється функцією часу, залежить від параметрів САУ і характеристик управляючих і протидіючих сигналів, які діють на систему в процесі слідкування за космічним тілом. При цьому максимум ефективності досягається при мінімумі сумарної похибки наведення.

Сау наземних АУ призначена для роботи з корисними сигналами, які зазвичай являються детермінованими функціями часу. Але випадкові перешкоди, які з'являються в процесі слідкування за космічними об'єктами, накладаються на корисні сигнали, тому вихідні координати САУ наземними АУ майже завжди представляють собою випадкові функції часу. В таких умовах ефективність роботи САУ доцільно оцінювати по критерію середньоквадратичної похибки (СКП) наведення, яка використовується для оцінки якості роботи САУ при дії на них випадкових сигналів. Це також дає змогу використовувати єдиний критерій якості роботи САУ наземних АУ при дії на них сигналів різних типів.

Задача дослідження точності наведення САУ наземними АУ розкривається в виявленні динамічних помилок перетворення системою корисних вхідних сигналів і можливих характеристик випадкових сигналів, тобто

математичних досліджень, дисперсій і кореляційних функцій вихідних координат. Для визначення цих величин необхідно зняти оператор САУ, який має достатньо складне математичне зображення, яке пояснюється складним математичним описом об'єкту управління і складністю побудови системи в цілому.

Аналіз точності наведення САУ наземних АУ з врахуванням особливостей їх побудови і математичного опису дозволяє виявити основні фактори, що викликають помилки наведення, і умови, при яких ці помилки можуть бути мінімізовані. Дослідження точності наведення також дає можливість виявити основні співвідношення, які дозволяють визначити ефективність роботи антенних систем в різних режимах по відомих параметрах САУ і умовах роботи. В процесі аналізу основна увага буде приділятися тим помилкам, які безпосередньо зв'язані з роботою САУ або можуть бути компенсовані при відповідних параметрах САУ.

4.2.2 Класифікація помилок і сумарна помилка наведення АУ

Вся множина помилок, яка створює сумарну похибку наведення електричної осі ДНА на космічний об'єкт, можна поділити по характеру їх зміни в часі на систематичні і випадкові. Систематичні помилки викликаються факторами, які діють достатньо визначеним чином, характеризуються постійною величиною Δ , незмінною на протязі великого проміжку часу або змінювану в часі, але по строго визначеному закону. Випадкові помилки обумовлені дією на систему випадкових процесів. В широкому розумінні всі похибки наведення АУ являються випадковими з різним інтервалом кореляції.

Систематичні помилки наведення САУ зазвичай можуть бути виключеними за рахунок відповідного регулювання або введення поправок, наприклад поправок на регулярну рефракцію в тропосфері, поправок на деформацію АУ під дією власної ваги і т. п.

Систематичні помилки, якщо вони можуть бути вимірними або вчисленими, також можуть бути виключені шляхом введення відповідних поправок і юстуванням АУ. Юстуванням прийнято називати визначення істинного положення ДНА або пеленгового напрямку в просторі з одночасною привязкою датчиків осей АУ геодезичним методом.

Особливу групу систематичних динамічних помилок наведення САУ складають систематичні помилки, які є результатом якості роботи САУ, тобто визначаються похибками перетворення корисного вхідного сигналу системою управління.

Систематичні динамічні помилки наведення включають: помилки динамічного запізнення при обробці вхідних впливів через обмежену ширину полоси пропускання ξ_d , помилки, обумовлені квантуванням в часі ξ_T , помилки, виникаючої під час зміни кадрів при інтерполяції ξ_H , і т. д.

Всю множину помилок наведення наземних АУ можна розбити на дві групи: не зв'язані безпосередньо з роботою САУ і помилки, що зв'язані з якістю роботи САУ. До першої групи відносяться помилки, обумовлені деформаціями дзеркальної системи антени під дією власної маси, вітровим навантаженням і нерівномірним сонячним нагрівом. Ці помилки мають систематичну і випадкову складову і детальніше будуть розглянені в наступному розділі.

Випадкові помилки наведення АУ, які безпосередньо залежать від якості роботи САУ називаються випадковими динамічними помилками.

Проведемо подальшу класифікацію вказаних груп помилок наведення САУ наземними АУ для двох основних режимів роботи: режим програмного управління і режим автосупроводження.

Режим програмного управління.

Систематичні помилки в цьому режимі можна умовно розбити на три великі підгрупи: астрономічні, методичні і інструментальні.

До систематичних астрономічних помилок відносяться:

- помилки викликані неточністю визначення широти φ і довготи λ місця знаходження АУ (Δ_φ і Δ_λ);
- помилка Δ_S визначення зіркового часу S;
- помилка визначення координат космічного об'єкта;
- помилка вибраного закону інтерполяції;
- помилка геодезичної привязки і юстування;
- помилка через радіорефракції в атмосфері.

Інструментальні помилки складаються з:

- помилка розрахунку поточних координат КО і вимірювання фактичних координат положення осей АУ;
- помилка від неперпендикулярності горизонтальної осі АУ по відношенні до вертикальної;
- помилка від неперпендикулярності осі антени по відношенню до горизонтальної осі;
- помилка викликана деформаціями ОПП і дзеркальної системи під дією гравітаційних сил, вітрових навантажень і нерівномірного сонячного нагріву.

Режим автосупроводу.

Спосіб формування сигналу помилки САУ наземними АУ в режимі автосупроводу безпосередньо по відхиленню електричної осі ДНА від істинного напрямку на КО дозволяє виключити практично всі систематичні і повільно змінювані помилки наведення, вводячи їх всередину замкнутого контуру. В режимі автосупроводу з вище перелічених складових сумарної помилки наведення залишаються наступні:

- систематичні динамічні помилки наведення, обумовлені динамічним запізненням через обмежену ширину пропускання силового слідкуючого приводу;
- випадкові динамічні помилки наведення, зумовлені флуктуаціями вітрових навантажень і сил тертя в механізмах наведення силової установки;
- помилки зумовлені внутрішніми тепловими шумами в приймальних пристроях антени;
- помилки наведення, зумовлені особливостями вибору методу автосупроводу.

Як і в режимі програмного супроводу, так і в режимі автосупроводу, характер зміни складових повної помилки наведення наземних АУ в картинній площині визначається геометрією використовуваної підвіски. Особливості зміни складових похибок наведення в просторі необхідно враховувати при розподіленні допусків на точність наведення САУ по кожній координаті і при враховуванні повної помилки наведення в картинній площині.

4.2.3 Випадкові динамічні помилки наведення систем автоматичного управління наземними АУ

Умови роботи керованих АУ в будь-якому із вибраних режимів характеризуються різноманіттям випадкових завад, які діють на САУ в процесі слідкування за КО, тому одна з основних задач, які виникають при проектуванні САУ наземних АУ, виражається в дослідженні впливу похибок, викликаних випадковими завадами, на якість роботи антенної системи в цілому.

Нижче розглядаються тільки ті випадкові похибки, які безпосередньо зв'язані з роботою САУ наземних АУ і можуть бути компенсовані при відповідному створенні і виборі параметрів САУ, а саме: помилки, створені впливом флуктуації вітрових навантажень на АУ, помилки, викликані зміною моментів тертя в механізмах наведення АУ, і помилки від внутрішніх шумів в системі автосупроводу.

4.2.4 Випадкові динамічні помилки САУ наземних АУ, обумовлені впливом вітрових навантажень на АУ

З числа випадкових динамічних похибок САУ наземними АУ найважливішими при роботі як в режимі програмного управління, так і в режимі автосупроводу є похибки, обумовлені впливом флуктуації вітрових навантажень на АУ. Величину СКО наведення від флуктуації вітрових навантажень можна отримати зєднавши спектральні характеристики вітру з характеристиками САУ:

$$S(\omega) = |\Phi_B(\omega)|^2 S_{mm}(\omega)$$

Підставивши в вираження спектральної щільності моментів $S_{mm}(\omega)$ і передаточної функції помилки системи $\Phi_B(p)$, отримуємо наступний вираз для СКО наведення від флуктуацій моменту, створюваного аеродинамічним навантаженням, буде рівною

$$\sigma^2 \approx \left| \sigma_M / I_B \omega_V^2 \right|^2 |\omega_V / \Delta B| / 2$$

Таким чином величина СКО на виході САУ наземними АУ, зумовлена випадковими збудженнями збоку вітрових навантажень, обернено пропорційна ширині полоси пропускання силового слідкуючого приводу АУ.

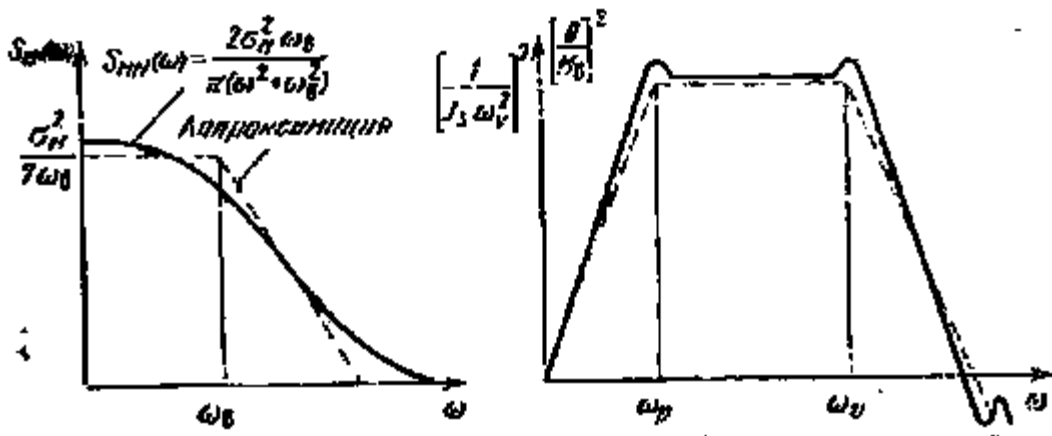


Рисунок 4.5 – Асимптотична апроксимація спектральної щільності вітрового моменту

Динаміка САУ наземними АУ (металоконструкції яких можуть бути представлені моделями з зосередженими параметрами) пвд дією випадкових збуджень зі сторони вітрових навантажень може бути досліджена на основі структурної схеми, зображеної на малюнку, яка яка получена при перетворенні схеми наступного приводу.

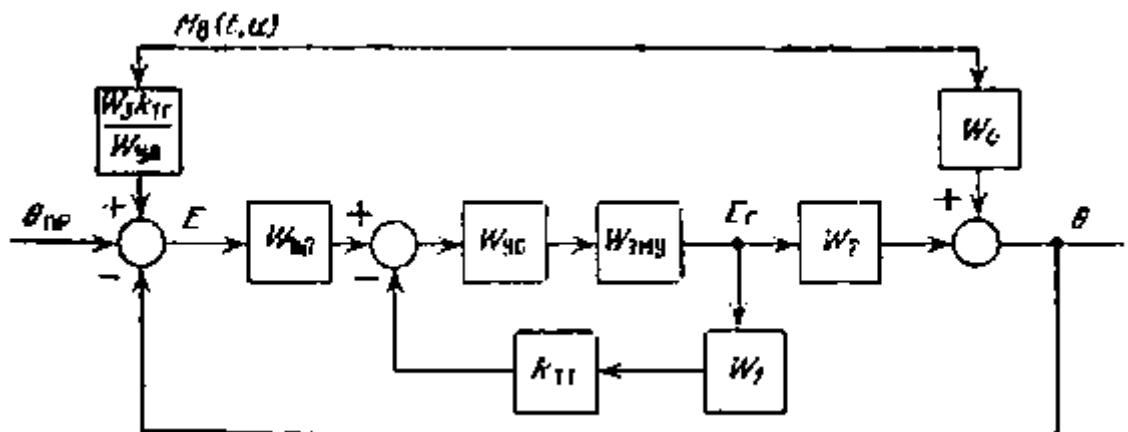


Рисунок 4.6 – Структурна схема силового приводу з приведеними до нього вітровими навантаженнями

У відповідності з цією схемою, зміна положення дзеркала АУ під впливом моментів, створюваних вітровим навантаженням, запишеться наступним чином:

$$\theta(p) = M(p) \{W_3(p)k_{IT}W(p)/W_{IT}(p)(1+W(p)) + W_4(p)/(1+W(p))\}$$

$$\theta(p) \approx M_1(p)[1/(1+W(p))][1/l^2][N(p)/D(p)]$$

На частотах нижчих ω_v відношення чисельника до $D(p)$ в останньому множнику може бути замінено одиницею. Другий множник представляє собою величину, обернену приведеній загальній жорсткості АУ при застопореному ІД. З урахуванням обставин кут повороту виконавчої осі АУ під дією вітрового моменту на низьких частотах може бути представлений виразом

$$\theta(p) \approx -\frac{M_l(p)\Phi_B(p)}{c_0}.$$

Цей вираз дозволяє нам визначити амплітуду низькочастотних коливань виконавчої осі АУ під дією вітрових навантажень. Він показує, що амплітуда вимушених коливань може бути зменшена шляхом збільшення $W(p)$ на даній частоті. Для розімкненої системи ($K=0$) маємо вираз для помилки наведення при заблокованому ІД. Поліус на початку координат функції створює чималий вплив на низьких частотах. Через це на таких частотах зменшення СКО наведення здійснюється в основному за рахунок коефіцієнту підсилення замкненої САУ, а не зарахунок фільтрації збурень заданими елементами силового слідкуючого приводу.

Таким чином в замкненій САУ величина помилки наведення від флуктуацій вітрових навантажень залежить від ширини полоси пропускання ССП, яка, напевне, пропорційна загальному коефіцієнту підсилення системи.

4.2.5 Статичні вітрові навантаження

Статичні вітрові навантаження створюються встановленим вітровим потоком V_0 ; при цьому результуюча сила і момент, що діє на АУ, дорівнюють

$$F = a_F \frac{\rho V_0^2}{2} S, M = a_M \frac{\rho V_0^2}{2} S,$$

де ρ - густина вітрового потоку; V_0 - середня швидкість вітру; s - площа відбиваючої поверхні АУ; a_F і a_M - аеродинамічні коефіцієнти сили і моменту, величина яких залежить від геометричної форми АУ і числа Рейнолдса.

Силу можна розложити на три взаємоперпендикулярні складові: силу лобового супротиву; підйомну силу і бокову складову. Аналогічно можна розложити результуючий момент на три ортогональні складові відносно осей з відповідними аеродинамічними коефіцієнтами.

Вважаючи вітровий потік абсолютно горизонтально направленим можна виразити кут атаки вітру через азимут і кут місця:

$$a = \arccos(\cos A \cosh).$$

Аеродинамічний коефіцієнт сил і моментів, що діють на АУ, залежать від форми відбиваючої поверхні АУ і кута атаки. Величина аеродинамічного коефіцієнту і закон його зміни в залежності від кута атаки можуть бути знайдені експериментальним або шляхом випробувань в аеродинамічній трубі.

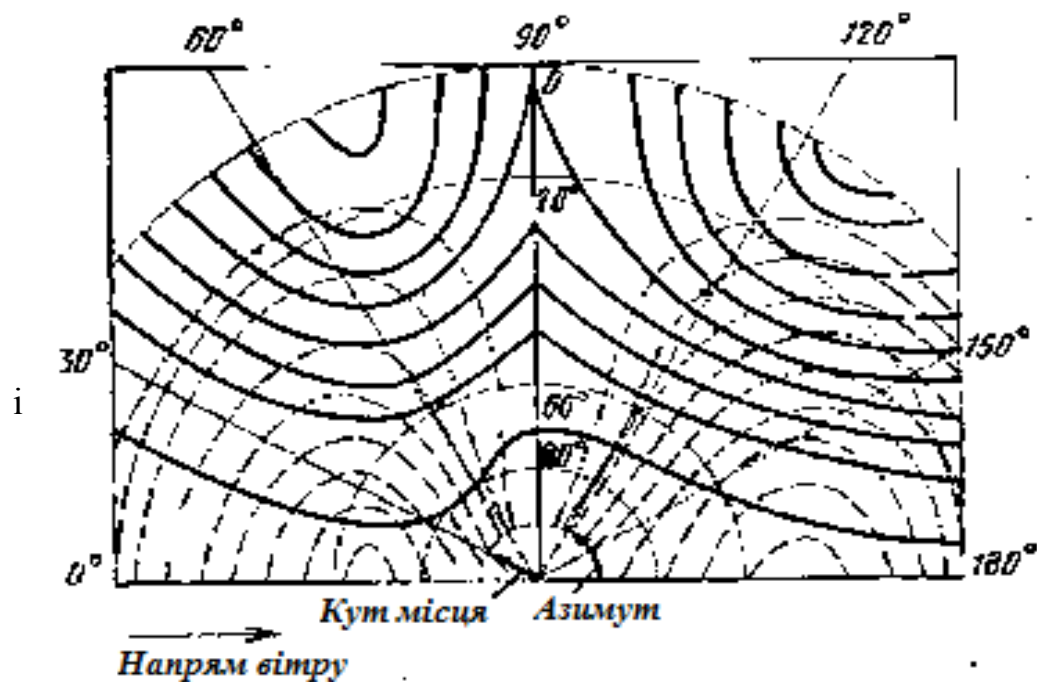


Рисунок 4.7 – Діаграма зміни вітрового навантаження в залежності від орієнтації АУ по азимуту і куту місця по відношенні до напрямку вітрового потоку

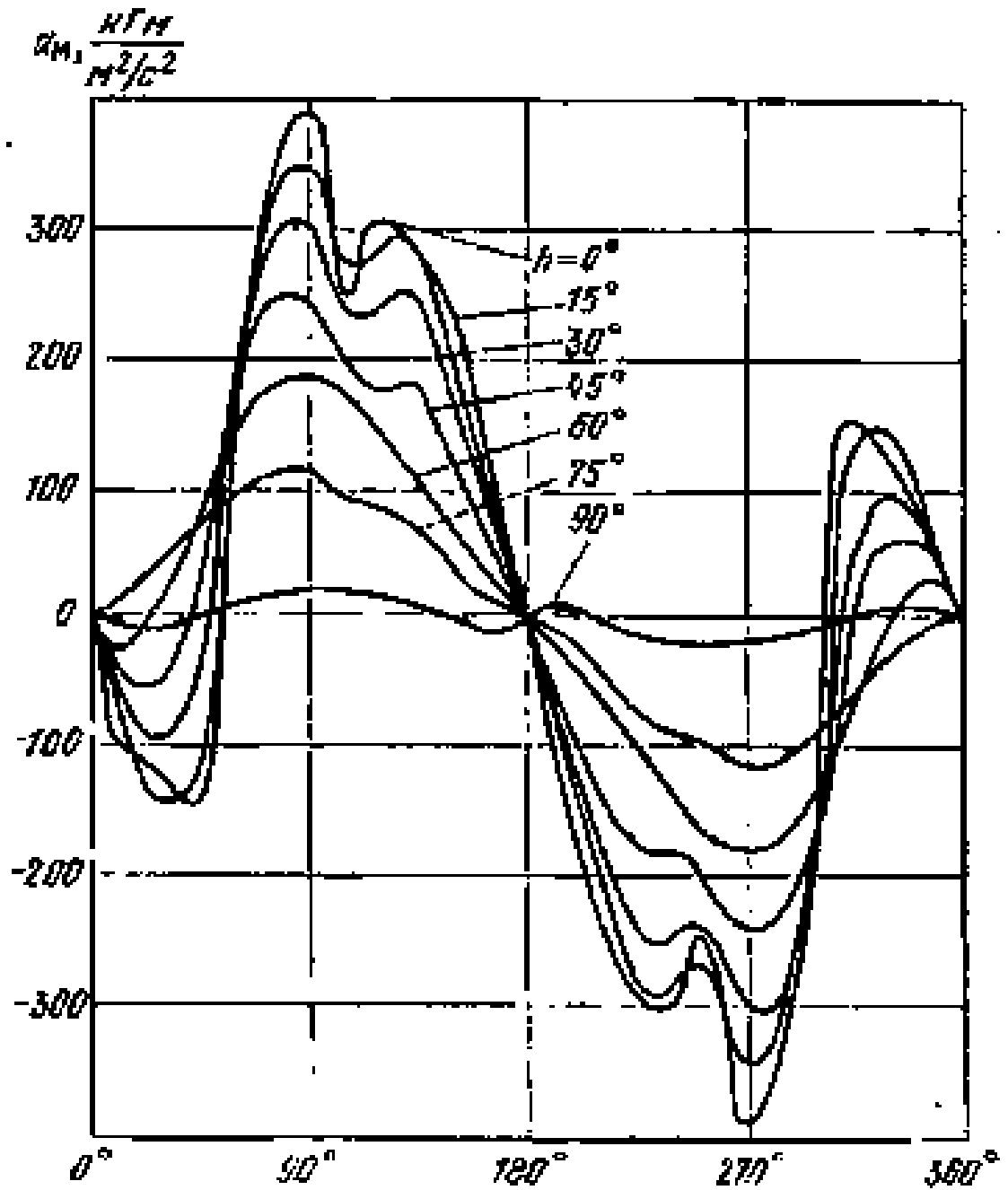


Рисунок 4.8 – Аеродинамічний коефіцієнт моменту для АУ

Висновок

В данній магістерській роботі було сконструювано пристрій для повірки датчиків кута, цей пристрій досить точним бо всі його компоненти є жорсткими, стійкими до деформацій. Також точність забезпечена тим, що в цьому пристрої відсутні рухомі деталі і ланки. Його точність залежить тільки від базування пристрою і від точності наведення променя лазера на світлочутливий елемент фоторезистора. Базування пристрою відбувається за рахунок затягування болтів, але ми залишили мінімальний зазор для того, щоб вал зміг провертатися в кріпленні. За рахунок цього зазору може відбутися невеликий крен сектора (на кілька секунд), але оскільки сектор нерухомий, то цей крен не буде змінюватися. Тому ми зможемо ліквідувати цю похибку за допомогою лазера. Тоді залишається тільки похибка від виведення лазера, яка обчислюється з урахуванням товщини резистора 0,35мм) і відстані від осі до фоторезистора (360мм).

Проектована система має такі переваги :

- Точність вимірювання;
- Підвищена точність за рахунок відсутніх рухомих деталей та ланки ;
- відносна простота у використанні з ймовірною похибкою виведення лазера

Тому сконструйований нами пристрій для повірки кутового переміщення системи антенної АС - 3 є точним та ефективним.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. А.А. Ахметджанов. Системы передачи угла повышенной точности. Издательство «Энергия», М.: Москва, Ленинград, 1966г, 272с.
2. Датчики. Справочник. Под редкцией З.Ю. Готры і О.И. Чайковского. Львов «Каменяр». 1995г.
3. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник; За ред.. проф.. Є.С. Поліщука. - Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. - 544с.
4. Богданов Э.О. Фоторезисторы и их применение. - Л.: Энергия, 1978. 144с.
5. Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники. - 2-е изд., и доп. - К.: Выща школа. Головное изд - во. 1988. 383с.
6. С.В. Кулагин, А.С. Гоменюк, В.Н. Дикарев. Оптико - механические приборы. - 2-е изд., перераб. И доп. - М.: Машиностроение, 1984. - 352 с.
7. Справочник техника - конструктора. Изд. 3-є, перераб. И доп. Самохвалов Я.А., Левицкий М.Я., Григораш В. Д, Киев, «Техніка», 1978, 592 с.
www.thk.ru/cataloguespdf/2007kr_300707evlock.pdf