

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Радіотехнічні системи навігації»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

173 Авіоніка

за темою № 3 - Системи авіаційної радіопеленгації

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.23_№_7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.23_№_1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.23_№_7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Стущанський Ю.В.

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.

План лекцій:

1. Основні тактико-технічні характеристики радіонавігаційних пристроїв і систем
2. Призначення та принцип дії пеленгаторів.
3. Бортові автоматичні радіокомпаси.

Рекомендована література:

Основна

1. П.В. Олянюк. Авіаційне радіобладнання. Підручник для ВУЗів. М: Транспорт 1989р.-318с.
2. В.П. Харченко. Авіоніка. Навчальний посібник. К:НАУ. 2013.- 272с.
3. Авіаційні радіоелектронні системи / О.О.Чужа, О.Г. Ситник, В.М. Хімін, О.В. Кожохіна. – К.:НАУ, 2017. – 264с.
4. А.В.Скрипець.Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.:НАУ, 2003. – 396с.
5. Харченко В.П. Системи зв'язку та навігації: навч.посіб. / В.П. Харченко, Ю.М. Барабанов, М.А. Міхалочкін. – К.: НАУ, 2009. – 216 с.
6. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. / В.О. Рогожин, В.М. Синєглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316с.

Допоміжна

1. В.П. Бабак. Безпека авіації / В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін. –К.: Техніка, 2004. – 584 с.
2. Харченко В.П. Радіомаячні системи ближньої аеронавігації: навч. посіб. / В.П. Харченко, В.Г. Мелкумян, О.П. Сушич. – К. : НАУ, 2011. – 208 с.
3. Харченко В.П. Авіоніка безпілотних літальних апаратів / В.П. Харченко, В.І. Чепіженко, А.А. Тунік, С.В. Павлова]; за ред. В.П. Харченка. – К.: ТОВ «Абрис-принт», 2012.– 464с.
4. Конспекти лекцій з базової підготовки технічного персоналу згідно вимог Part-66, Part-147 (Модуль 3, 4, 5, 13, 14).

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Системи індикації ПС. <https://studfiles.net/preview/6810198/page:28/>
2. Бортова система попередження зіткнень
http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/TM058196.htm
3. HELLI—TAWShhttp://www.fcs-modification.com/?go=news&n=6&new_language=0

Текст лекції

1. Основні тактико-технічні характеристики радіонавігаційних пристроїв і систем

Сучасна авіація виконує польоти в складних і різноманітних умовах, над різною місцевістю, у будь-який час доби й року. З усіх технічних засобів навігації тільки радіотехнічні засоби здатні забезпечити польоти в складних умовах навігаційної ситуації.

За допомогою радіотехнічних засобів навігації розв'язують широке коло завдань, часто комплексних. Основними з них є:

- забезпечення польоту по заданому маршруту, для чого необхідно здійснювати контроль шляху по напрямку і дальності, визначення місцеперебування літального апарата, вимірювання шляхової швидкості та кута зносу та ряд інших навігаційних параметрів;
- забезпечення приводу літального апарата на аеродром посадки.

Радіонавігаційні системи (РНС) оцінюються за такими тактико-технічними показниками (ТТП), обумовленими призначенням системи: діапазоном хвиль, точністю, робочою областю, дальністю дії, пропускну здатністю, завадозахищеністю, електромагнітною сумісністю, надійністю, оперативністю, а також загальними радіотехнічними, конструктивними й експлуатаційними показниками.

Під час проектування і розроблення радіонавігаційних пристроїв керуються тактико-технічними вимогами до всіх наведених показників.

Різнороманітність і складність завдань, вирішуваних радіонавігаційними засобами, зумовлює дуже складні і часто суперечливі вимоги, які ці системи і пристрої мають задовольняти.

Розглянемо сутність основних тактико-технічних показників, що характеризують радіонавігаційні пристрої і системи.

Діапазон хвиль якісно визначає технічний вид радіонавігаційної системи. Вибір робочого діапазону хвиль тісно пов'язаний з надійністю, дальністю дії і точністю системи. Сучасні радіонавігаційні пристрої й системи працюють в широкому діапазоні радіохвиль.

Точність радіонавігаційної системи – це її здатність забезпечити розв'язання основних навігаційних задач з похибкою, що не перевищує допустиму. Кожна навігаційна система повинна забезпечувати задану точність вимірювання навігаційних величин, визначувану призначенням систем. Точність – це, більш строго, ступінь відповідності розрахункового або вимірюваного значення навігаційного параметра дійсному значенню. Точність вимірювання місцеперебування, як правило, виражається відстанями від заявленого місцеперебування, в межах якого з певною ймовірністю визначається істинне місцеперебування.

Робочою областю називають частину простору, в межах якої РНС задовольняє всі тактико-технічні вимоги, що ставляться до неї. Неавтономні радіонавігаційні системи мають обмежену робочу область. Це пояснюється такими основними причинами:

- обмеженою максимальною дальністю дії радіоліній, утворюваних літаковими пристроями з кожною з радіонавігаційних точок системи;
- напрямленими властивостями антен радіонавігаційних пристроїв;
- зміною точності визначення місцеперебування літального апарата із зміною його положення відносно радіонавігаційних точок.

Дальністю дії називають максимальну відстань між літальним апаратом і радіонавігаційною точкою, за якої надійно забезпечується задана точність системи. Дальність дії сучасних радіонавігаційних систем залежно від їх призначення охоплює діапазон від десятків до кількох сотень метрів до декількох тисяч кілометрів. З погляду дальності дії радіонавігаційні системи можна умовно розділити на системи ближньої дії – до 1000 км і системи дальньої дії – понад 1000 км.

Безперервність – здатність системи забезпечувати максимальну ефективність, тобто досягнення цілей за мінімальних витрат.

Доступність (або готовність) – готовність виконувати задану функцію. Вона характеризується часом, протягом якого засоби або система виконують задану функцію за визначених умов.

Цілісність – визначена гарантія того, що аеронавігаційні дані та їх значення не загублені або не змінені з моменту підготовки даних або санкціонованого внесення виправлень.

Пропускною здатністю називають здатність системи одночасно обслуговувати певну кількість літальних апаратів. Одночасна робота великої кількості бортових пристроїв і систем з одним комплектом РНТ може спричиняти перевантаження наземної апаратури або створювати взаємні завади літаковим пристроям.

Кількісна оцінка пропускну здатності РНС полягає у вказанні максимальної кількості бортових пристроїв системи, що одночасно працюють з одним комплектом її радіонавігаційних точок, за якого ще задовольняються всі тактико-технічні вимоги, що ставляться до системи.

Завадозахищеністю РНС називають їх здатність працювати за наявності штучних і природних завад.

Електромагнітною сумісністю РНС визначають їх можливість одночасно працювати з великою кількістю бортових радіоелектронних пристроїв і систем.

Надійністю радіонавігаційних пристроїв називають їх здатність забезпечувати безвідмовну роботу і задані тактико-технічні характеристики в реальних умовах експлуатації. Кількісно надійність характеризують імовірністю відмови за заданий інтервал часу або середнім часом безвідмовної роботи.

Оперативність радіонавігаційної системи визначають часом, необхідним для приведення літакового і наземного устаткування в готовність до визначення основних навігаційних даних і часом на безпосереднє визначення цих даних. Серед чинників, що визначають оперативність радіозасобів літаководіння, слід особливо відзначити ступінь автоматизації керування і обслуговування апаратури.

Загальними технічними показниками радіонавігаційних систем називають такі, за якими зазвичай оцінюють основні властивості та якість радіотехнічних пристроїв. Це, наприклад, потужність передавальних пристроїв, чутливість приймальних пристроїв, роздільна здатність індикаторних пристроїв, габарити, маса, споживана потужність, зручність застосування, експлуатації і обслуговування, механічна і електрична міцність і т. ін. За всіма цими показниками літкова радіонавігаційна апаратура має задовольняти загальні технічні вимоги до об'єктів спеціального обладнання літаків. Наземна апаратура повинна задовольняти загальні технічні вимоги до наземних радіотехнічних засобів.

2. Призначення та принцип дії пеленгаторів

За допомогою радіопеленгаторів можна визначати напрями (пеленги) на джерела радіохвиль. Такими джерелами можуть бути наземні і бортові радіопередавачі, а також джерела теплового радіовипромінювання земних і космічних тіл.

Якщо відомі координати джерел радіовипромінювання, радіопеленгатор можна використовувати для визначення своїх координат, і навпаки, якщо відомі координати радіопеленгатора, можна визначити за його допомогою координати джерел радіовипромінювання.

У зв'язку з цим радіопеленгатори широко застосовують у повітряній і морській навігації, в системах наведення керованих снарядів, для розвідки розміщення радіостанцій супротивника.

Радіопеленгатор складається з антенного пристрою, радіоприймача і кінцевого пристрою (рис.1).



Рисунок 1- Функціональна схема радіопеленгатора

Антенна система радіопеленгатора уловлює електромагнітні коливання, випромінювані джерелом радіохвиль, і перетворює їх на високочастотні

струми і напруги. Радіоприймач підсилює ці струми та напруги і перетворює їх до виду, необхідного для приведення в дію кінцевого пристрою. За допомогою кінцевого пристрою здійснюється відлік кутового положення (пеленга) джерела радіохвиль відносно початкового, наперед вибраного напрямку.

Залежно від того, який параметр вихідних сигналів радіоприймача радіопеленгатора використовують для вимірювання пеленга, розрізняють амплітудні та фазові кінцеві пристрої. Як амплітудні кінцеві пристрої застосовують телефони, стрілкові індикатори і електронно-променеві трубки. Основним елементом фазових кінцевих пристроїв є фазовий детектор. Його використовують, зокрема, в бортових автоматичних радіопеленгаторах (радіокомпасах).

У радіопеленгаторах з амплітудними кінцевими пристроями здебільшого застосовують антени напрямленої дії. Радіопеленгатори можуть бути одноканальними або двоканальними. В одноканальних радіопеленгаторах напрям може визначатися за мінімумом або максимумом вихідних сигналів радіоприймача, а в двоканальних – шляхом порівняння вихідних сигналів цих каналів за амплітудою.

За місцем установлення радіопеленгатори можна підрозділити на бортові і наземні. В літакових радіопеленгаторах вимірюється курсовий кут радіостанції (ККР).

Знання ККР та істинного пеленгу літака (ІПЛ) дозволяє виконувати політ на радіостанцію, контролювати правильність проходження літака по маршруту, виконувати розрахунок і захід на посадку і т. ін.

За послідовного визначення істинних пеленгів літака щодо двох різних радіостанцій (ІПЛ1 і ІПЛ2) можна знайти місцеперебування літака як точку перетину ліній положення, що відповідають цим пеленгам (рис.2).

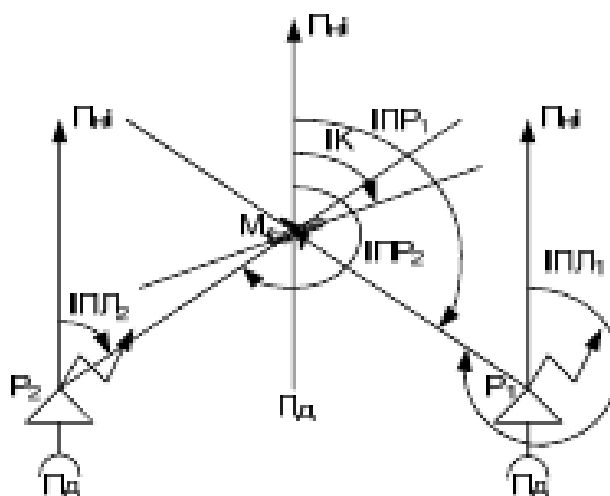


Рисунок 2 - Визначення місцеположення літака за пеленгацією двох наземних радіостанцій

За допомогою наземного радіопеленгатора можна визначати пеленги літака, якщо на ньому працює передавальна зв'язна радіостанція. Пеленги в наземному пеленгаторі відлічуються за годинниковою стрілкою відносно північного напрямку меридіана. Знайдені пеленги зазвичай передаються на літак за допомогою зв'язних радіостанцій. Знаючи пеленг літака відносно наземного радіопеленгатора, екіпаж може виконувати політ на радіопеленгатор, виконувати розрахунок і захід на посадку, контролювати правильність проходження літака по маршруту і вирішувати цілий ряд інших завдань авіаційної навігації.

У разі одночасного використання двох пеленгаторів, розташованих у різних точках земної поверхні, можна визначити місцезположення літака як точку перетину ліній положення, що відповідають двом знайденим пеленгам.

Недоліком наземних пеленгаторів є те, що вони можуть одночасно обслуговувати тільки один літак. Крім того, передана на літак інформація про його координати істотно запізнюється щодо моменту пеленгації, що помітно знижує реальну точність навігаційних визначень.

Позитивним у наземних пеленгаторів є те, що вони не потребують установлення спеціальної апаратури на борту літака, окрім звичайної зв'язної радіостанції. Тому, незважаючи на наявні недоліки, наземні радіопеленгатори широко застосовують в радіонавігації.

Радіопеленгатори можуть бути неавтоматичними і автоматичними. В авіації застосовують переважно автоматичні радіопеленгатори. Нижче описано принцип дії типового бортового автоматичного радіопеленгатора (автоматичного радіокомпаса).

3.Бортові автоматичні радіокомпаси

Функціональну схему типового літакового автоматичного радіопеленгатора, названого автоматичним радіокомпасом (АРК), показано на рис. 3.

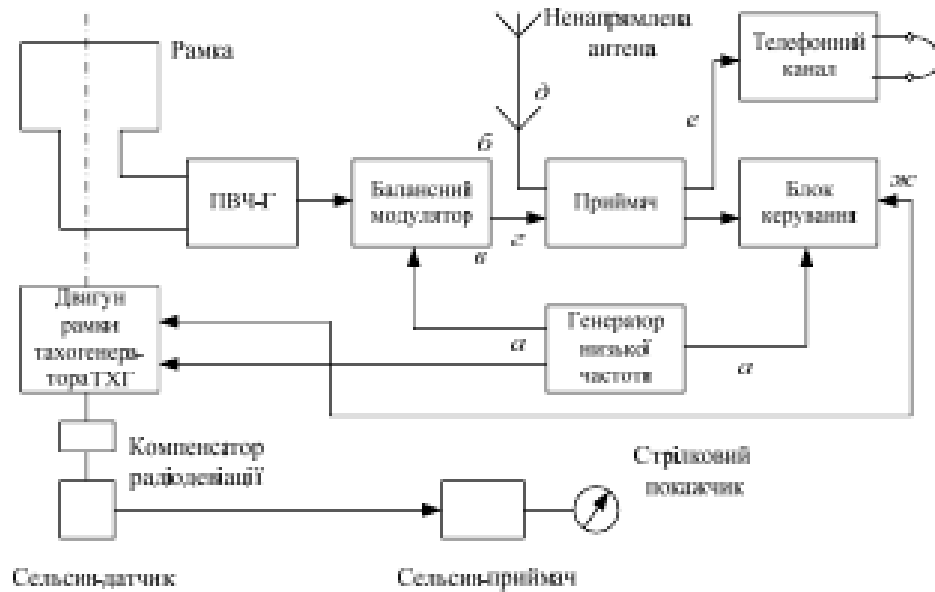


Рисунок 3 – Функціональна схема бортового радіокомпаса

Автоматичний радіокомпас містить напрямлену рамкову антену, ненапрямлену антену, підсилювач високої частоти (ПВЧ) каналу рамки, балансний модулятор, генератор низької (модульовальної) частоти, приймач, телефонний канал, блок керування з двигуном рамки, компенсатор радіодевіації, сельсинну систему передавання кутового положення рамки із стрілочним показником курсового кута пеленгованої радіостанції.

Радіохвилі приймаються одночасно на рамкову і ненапрямлену антени. Ненапрямлена антена є Т-подібною антенною з вертикальною поляризацією.

Діаграма напрямленості рамкової антени в горизонтальній площині має вигляд вісімки з двома максимумами і мінімумами (рис.4). Вихідний сигнал рамкової антени дорівнює нулю тоді, коли напрям поширення радіохвиль перпендикулярний до її площини ($\theta = 90^\circ$ і 270°). Фаза вихідного сигналу рамкової антени змінюється на 180° під час переходу через напрям нульового приймання, що на рис. Б.4 умовно позначено знаками плюс і мінус.

З виходу рамкової антени сигнал надходить в підсилювач високої частоти каналу рамки, резонансний контур якого налаштований на частоту, меншу, ніж найнижча частота робочого діапазону радіокомпаса. У зв'язку з цим навантаження підсилювача має характер місткості, а вихідний сигнал підсилювача зсунутий за фазою на 90° відносно вхідного.

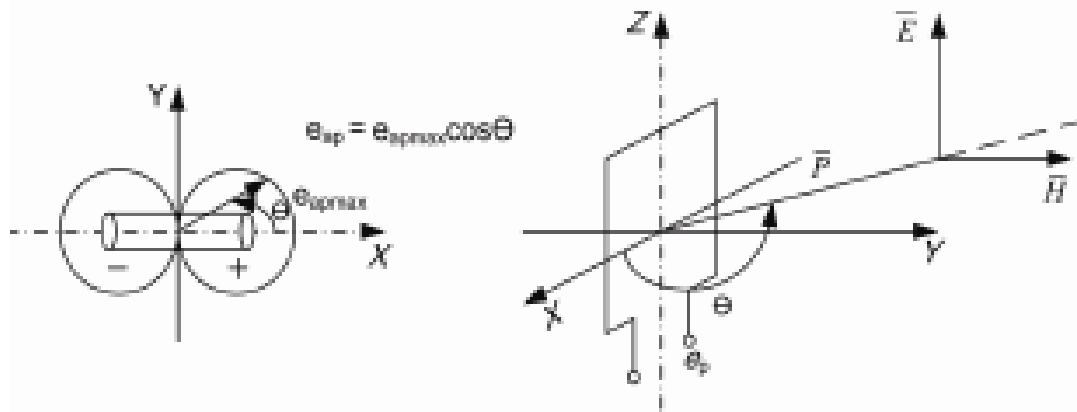


Рисунок 4 – Принцип дії рамкової антени

Таким чином, підсилювач високої частоти, окрім посилення здійснює фазування сигналу каналу рамки із сигналом ненапрямленої антени.

В останніх модифікаціях радіокомпасів (АРК-15М, АРК-22, АРК-25 та ін.) використовуються нерухомі рамкові антени, а діаграма напрямленості обертається за допомогою пошукових котушок гоніометра.

Нерухомі рамкові антени – це дві взаємно перпендикулярні котушки (рамки), у яких обмотки розташовані вертикально на спільному феритовому осерді.

Гоніометр – це безконтактний індукційний перетворювач, який складається з двох взаємно перпендикулярних нерухомих польових котушок і рухомої пошукової котушки. Пошукова котушка розташована між польовими котушками, які з'єднані з відповідними обмотками рамкової антени. Електрорушійна сила, яка наводиться у пошуковій котушці електромагнітним полем, що проходить через польову котушку, залежить від орієнтації пошукової котушки. Фаза напруги, яка знімається з пошукової котушки, залежить від напрямку відхилення, а величина пропорційна куту відхилення пошукової котушки від положення, яке відповідає напрямку на пеленгуючу радіостанцію фр. Коли пошукова котушка переходить через це положення, фаза напруги на її виході змінюється на 180° (діаграма напрямленості котушки ПК має форму вісімки).

Гоніометр призначений для відтворення електромагнітного поля пеленгуючою радіостанцією і визначення його напрямку.

Таким чином, радіокомпас являє собою систему, яка автоматично підтримує рамку у напрямі нульового приймання.

Положення рамки відносно поздовжньої осі літака передається за допомогою сельсинної передачі в кабінку пілота і штурмана. Для цього вісь сельсина-датчика пов'язана з віссю рамки, а сельсини-приймачі використовуються як показники (індикатори) курсового кута пеленгуючої радіостанції.

У реальних умовах радіопеленгатор завжди оточений місцевими предметами, які можуть впливати на його роботу. Якщо радіопеленгатор встановлено на землі, то такими предметами є розташовані поблизу споруди, складки рельєфу, лінії електропередач і т. ін. Поблизу антенної системи літакового радіопеленгатора розташований корпус літака (фюзеляж, площини) і виступні частини (антени, шасі, щитки і т. ін.). Радіохвилі, що надходять від пеленгованої радіостанції, викликають у предметах, які оточують радіопеленгатор, струми високої частоти, що створюють поля оберненого випромінювання.

Напрямок поширення результуючого поля, отриманого складанням прямої хвилі з хвилями оберненого випромінювання, в загальному випадку не збігається з напрямом на радіостанцію.

Оскільки радіопеленгатор визначає напрям поширення радіохвиль, то спотворення поля хвилі, що надходить, призводить до помилок радіопеленгації, названих радіодевіацією.

Для літакових радіокомпасів радіодевіація ΔP дорівнює різниці між курсовим кутом радіостанції, який визначає істинний напрям на радіостанцію, і відліком радіокомпаса (ВРК) за індикатором (рис. 5)

$$\Delta P = \text{ККР} - \text{ВРК}.$$

Величина радіодевіації є функцією напрямку надходження радіохвиль.

Радіодевіація може досягати значної величини (15...20°). Тому для її зменшення в автоматичному радіокомпасі між віссю рамки і віссю сельсина-датчика вмикається спеціальний пристрій – механічний або електронний компенсатор радіодевіації.

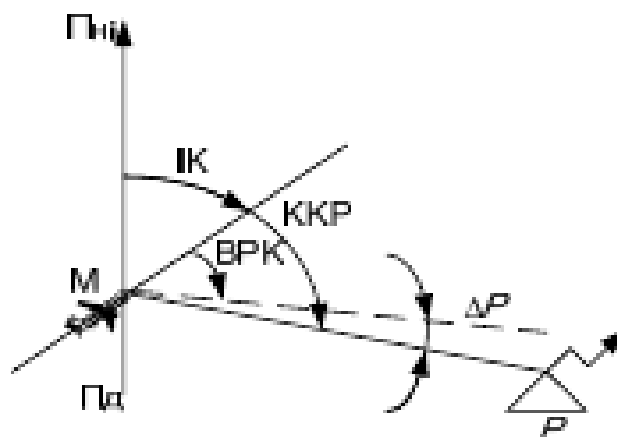


Рисунок 5 – Радіодевіація

Принцип механічної компенсації полягає в тому, що вісь сельсина-датчика одержує додаткове кутове переміщення відносно осі рамки на величину, визначену графіком радіодевіації. Графік радіодевіації зазвичай

знімається одночасно з визначенням девіації магнітного компаса літака. Після цього відповідним регулюванням компенсатора досягаються усунення радіодевіації.

Літакові радіокомпаси працюють в діапазоні середніх хвиль 120 ... 2000 кГц. За середнього рівня завад практична точність автоматичних радіокомпасів оцінюється помилкою, що дорівнює $2...3^\circ$. Дальність дії системи радіопеленгації, що складається з радіокомпаса і типової привідної радіостанції потужністю 500 Вт, становить 250 ... 300 км.