

**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
(Авіоніка)***

за темою № 4 - Радіомаячні системи навігації

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 лекції

1. Загальні відомості про радіомаяки
2. Маркерні радіомаяки
3. Курсові радіомаяки
4. Радіомаячна система посадки ILS

Рекомендована література:

Основна література:

1. В.П. Харченко, І.В. Остроумов. Авіоніка. Навчальний посібник. К.: НАУ, 2013.-272с.
2. Авіаційні радіоелектронні системи / О.О.Чужа, О.Г. Ситник, В.М. Хімін, О.В. Кожохіна. – К.: НАУ, 2017. – 264с.
3. В.О. Рогожин. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. / В.О. Рогожин, В.М. Синєглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316с.
4. А.В.Скрипець. Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.: НАУ, 2003. – 396с.
5. А.П.Бамбуркін, В.Н. Неделько, М.І. Рубец. Аеронавігаційні радіотехнічні системи. Навчальний посібник/ Під.ред. М.І. Рубця — Кіровоград. Вид-во ГЛАУ, 2002.- 520с.
6. В.П. Харченко. Системи зв'язку та навігації./ В.П. Харченко, Ю.М. Барабанов, М.А. Міхалочкін/ Навчальний посібник – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 216 с.
7. Л.М. Логачова. Поширення земних радіохвиль та мобільний зв'язок / Л. М. Логачова, Т. І. Бугрова / Навчальний посібник.— Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 236 с.

Допоміжна література:

1. П.В.Олянюк, Авіаційне радіобладнання. Підручник для ВУЗів. М: Транспорт 1989р. – 318 с.
2. 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 — TAWS http://www.fcs-modification.com/?go=news&n=6&new_language=0

Текст лекції

1. Загальні відомості про радіомаяки

Радіомаяки (РМ) набули широкого застосування в авіаційній навігації. За їх допомогою можна контролювати правильність польоту літального апарата по маршруту, здійснювати політ від радіомаяка або на нього, виконувати розрахунок і захід на посадку і т. ін. У разі використання одночасно двох радіомаяків, розташованих різних точках у земної поверхні, можна визначити місцеперебування літального апарата як точку перетину двох ліній положення, які в цьому випадку є ортодроміями.

Радіомаяк складається з антенної системи і радіопередавача, сигнали якого приймаються бортовими радіоприймачами літальних апаратів. Радіомаяки, на відміну від наземних радіопеленгаторів, мають необмежену пропускну здатність.

Кінцеві пристрої бортових приймачів в радіомаякових системах, так само як і в радіопеленгаторах, можуть бути амплітудними і фазовими. В радіомаяках з амплітудними кінцевими пристроями бортових радіоприймачів зазвичай використовують антенні системи спрямованої дії. Такі РМ можуть бути одноканальними або двоканальними.

В одноканальному радіомаяку напрям у просторі можна задавати за мінімумом діаграми напрямленості його антенної системи.

В двоканальному РМ напрям задається випромінюванням сигналів по двох діаграмах напрямленості, що перетинаються, і подальшого їх порівняння в кінцевому пристрої бортового радіоприймача. Одним з варіантів такого радіомаяка є рівносигнальний радіомаяк, що широко використовується на практиці.

Радіомаяки з фазовими кінцевими пристроями завжди виконуються двоканальними. По одному з каналів передається опорний сигнал, фаза коливань якого не залежить від положення точки приймання відносно радіомаяка. По другому каналу передається сигнал, фаза коливань якого залежить від розміщення точки приймання. У кінцевому пристрої бортового приймача напрям на радіомаяк визначається через порівняння фаз коливань, що приймаються по каналах радіомаякової системи.

За призначенням радіомаяки поділяють на маркерні, зональні і пеленгові (або всенаправлені).

Маркерні радіомаяки призначені для позначення певних пунктів на земній поверхні, важливих для повітряної навігації. За допомогою маркерного радіомаяка позначають ділянку простору, що прилягає до вертикалі в точці його установа. Для цього зазвичай використовують амплітудні радіомаяки, діаграма напрямленості антенної системи яких у вертикальній площині має веретеноподібний вигляд. Момент прольоту над маяком визначають за максимумом вихідних сигналів бортового

радіоприймального пристрою. Широкого застосування маркерні радіомаяки набули в системах посадки літальних апаратів.

Зональні радіомаяки призначені для задання одного або декількох певних напрямів у горизонтальній або вертикальній площині. Вони вказують заздалегідь установлені напрями від радіомаяка і на нього у вигляді вузьких зон, створюваних у просторі тими або іншими радіотехнічними способами. При цьому радіомаяки, які вказують певні напрями у вертикальній площині, називають глісадними, а в горизонтальній – курсовими радіомаяками. Зональні радіомаяки широко використовують у системах посадки літальних апаратів для забезпечення їх руху у горизонтальній і вертикальній площинах, наведення керованих снарядів і т. ін.

Пеленгові радіомаяки призначені для визначення напрямів (пеленгів) на радіомаяк або від нього при розташуванні літального апарата в будь-якій точці відносно радіомаяка. Через це такі маяки іноді називають всенапрямленими.

У всенапрямлених радіомаякових системах пеленг (азимут) відліковується на борту літального апарата за годинниковою стрілкою відносно північного напрямку меридіана (рис.1). У разі одночасного використання двох радіомаяків, розташованих у різних точках земної поверхні, можна визначити місце літального апарата як точку перетину двох ліній положення.

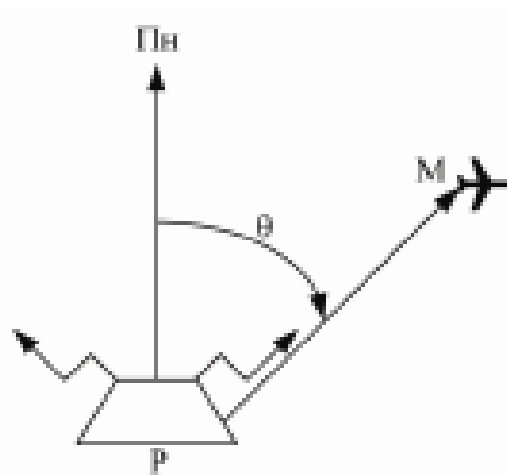


Рисунок 1 – Відлік пеленгу за допомогою всенапрямленого маяку

Деякі пеленгові радіомаяки можуть використовуватися тільки в певних секторах. Такі радіомаяки називають секторними.

Пеленгові радіомаяки застосовують під час польотів по маршрутах, у системах регулювання повітряного руху в районі аеродрому та ближній зоні. Особливості побудови радіомаякових систем розглянемо на прикладі глісадного і курсового радіомаяків.

2. Маркерні радіомаяки

Глісадний радіомаяк призначено для указання екіпажу літака, що знижується, площини планування. Глісадні радіомаяки використовують рівносигнальні радіомаяки.

Кут рівносигнального напрямку таких радіомаяків, створюваного двома діаграмами напрямленості, що перетинаються, має збігатися із заданою площиною планування. Переріз площини планування з вертикальною площиною посадкового курсу утворює лінію планування, по якій екіпаж повинен пілотувати літак для виконання посадки.

На літаку встановлюється глісадний радіоприймач, що дозволяє роздільно приймати сигнали двох діаграм напрямленості і визначати положення літака відносно площини планування. Як бортовий індикатор зазвичай використовують стрілковий прилад нульового типу.

Функціональну схему типового глісадного радіомаяка, що працює в дециметровому діапазоні хвиль, зображено на рис.2. Радіомаяк включає ПВЧ генератор, розподільний міст, два амплітудні модулятори, верхню і нижню передавальні антени. Підсилювач високої частоти генератор виробляє радіосигнали несучої частоти $\omega = 0.2\pi f$. З виходу генератора вони підводяться до розподільного моста.

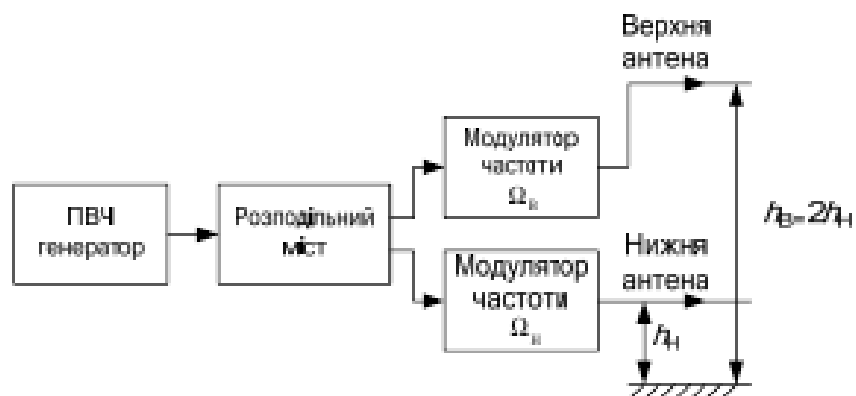


Рисунок 2 – Функціональна схема глісадного маяку

Розподільний міст забезпечує приблизно однаковий розподіл потужності між двома передавальними антенами і знижує вплив одного каналу на інший. З виходу розподільного моста високочастотні коливання надходять на два модулятори.

В модуляторах здійснюється амплітудна модуляція коливань ПВЧ генератора. У каналі верхньої антени частота модуляції $F_{м.в} = 90$ Гц, а в каналі нижньої $F_{м.н} = 150$ Гц.

Глибину амплітудної модуляції в обох каналах вибирають здебільшого однаковою. З виходу модулаторів амплітудномодульовані сигнали підводяться до верхньої і нижньої антен.

Пелюстки діаграми напрямленості верхньої і нижньої антен накладаються одна на одну, внаслідок чого утворюються рівносигнальні зони.

Кути нахилу рівносигнальних зон визначаються напрямками, у яких інтенсивності сигналів верхньої і нижньої антен однакові. Для вказівки площини планування використовують найближчу до землі рівносигнальну зону (Рис.3), що утворюється перетином нижніх пелюсток діаграм напрямленості верхньої і нижньої антен. Інші рівносигнальні зони помилкові.

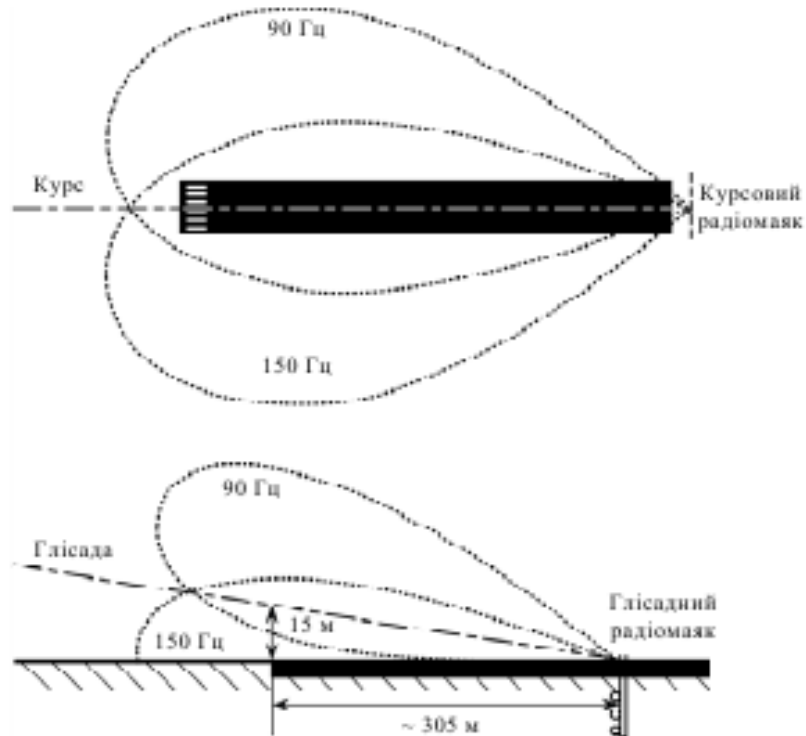


Рисунок 3 – Формування рівносигнальних зон курсовим та глісадним маяками

Кут нахилу основної рівносигнальної зони вибирають у межах $2...5^\circ$.

Сигнали радіомаяка приймаються бортовим приймальним пристроєм, за допомогою якого визначають величину і напрям відхилення літака від заданої площини планування. Функціональну схему глісадного приймача показано на рис. 4.

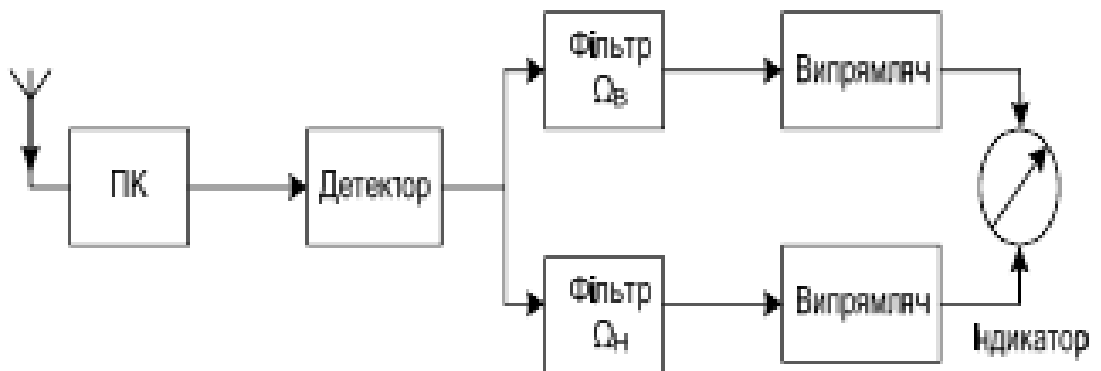


Рисунок 4 – Функціональна схема глісадного маяку

Під час навантаження амплітудного детектора приймача виділяються сигнали двох низьких частот FM.B і FM.H. На вході приймача є фільтри, за допомогою яких ці сигнали розділяються і потім надходять на відповідні випрямлячі.

Вихідні струми випрямлячів подаються зустрічно на стрілковий прилад нульового типу. Величина цих струмів залежить від положення літака відносно рівносигнального напрямку. Коли рух літака збігається з рівносигнальним напрямком, стрілка приладу установлюється в горизонтальне положення. При цьому струми i_B і i_H , що відповідають каналам верхньої і нижньої антен, рівні між собою.

Якщо літак знижується від рівносигнального напрямку, то стрілка приладу відхиляється вгору від центра шкали, оскільки в цьому випадку $i_H > i_B$. Якщо літак перевищує рівносигнальний напрям, стрілка приладу відхиляється вниз від центра шкали ($i_B > i_H$).

Таким чином, стрілка вихідного приладу глісадного радіоприймача безперервно вказує положення заданої площини планерування відносно літака.

3. Курсові радіомаяки

Курсовий радіомаяк призначений для указання екіпажу положення відносно площини курсу або осі злітно-посадкової смуги.

Принцип дії курсового радіомаяка аналогічний раніше викладеному для глісадного радіомаяка (рис. 5).

Залежно від переваги напруги 90 або 150 Гц планка пристрою відхиляється вліво (1) або вправо (3). Якщо напруги однакові, (2) планка вказує, що літак перебуває в площині курсу (рис.6).

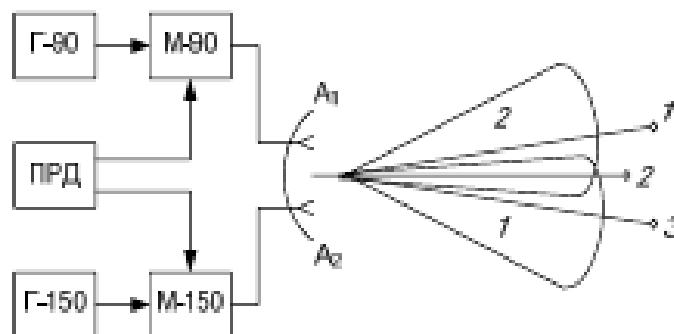


Рисунок 5 – Функціональна схема курсового маяка
1, 2, 3 – положення літака; Г-90 – генератор 90 Гц;
М-90 – модулятор 90 Гц; Г-150 – генератор 150 Гц;
М-150 – модулятор 150 Гц

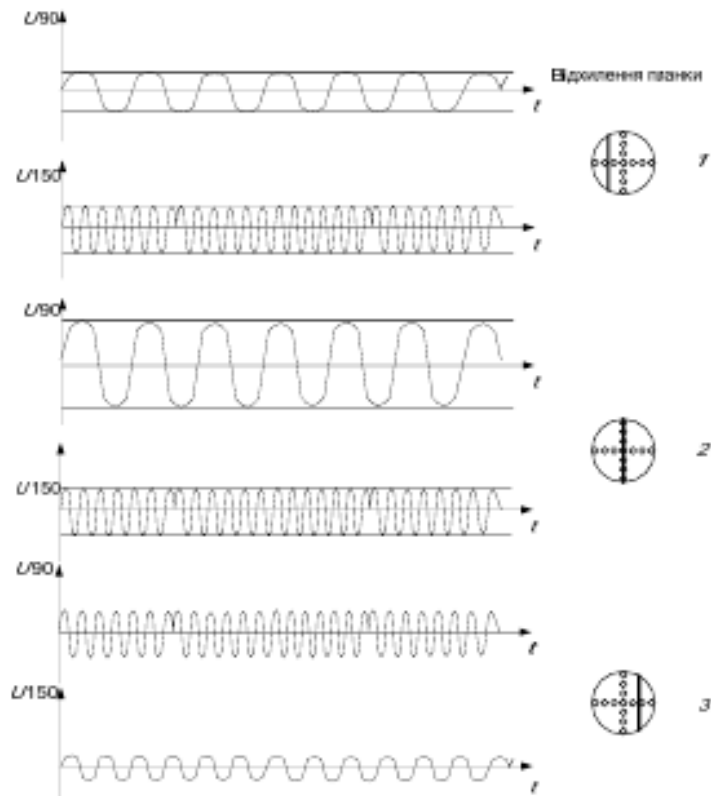


Рисунок 6 – Часові діаграми процесів курсового маяка

4. Радіомаячна система посадки ILS

Система посадки ILS (Instrument Landing System – інструментальна система посадки) працює за посадковими радіомаяками метрового діапазону і визначає за ним відхилення ПК від курсу та глісади під час заходу на посадку. Наземне обладнання складається з двох радіомаяків – курсового та глісадного, які встановлюються на аеродромі.

Курсовий радіомаяк задає площину посадкового курсу рівно сигнальним методом, формуючи в горизонтальній площині дві пересічні діаграми напрямленості. Його розміщують таким чином, щоб задавати площину, яка проходила б по осі ЗПС. Частоту роботи курсового радіомаяка вибирають з діапазону 108,10–111,95 МГц. Випромінювання праворуч від курсу посадки модулюється за амплітудою частотою 150 Гц, зліва – частотою 90 Гц. Бортовий приймач вимірює різницю глибин модуляції (РГМ). У площині курсу ЗПС РГМ дорівнює нулю і збільшується пропорційно відхиленню від курсу посадки. Інформація про величину відхилення надходить у систему індикації; за зображенням на екрані пілот може оцінити, наскільки точно він заходить на посадку і в який бік від ідеального напрямку відхилився – вправо або вліво. Зона дії курсового радіомаяка становить близько 50 км.

Глісадний радіомаяк задає лінію глісади, яка дозволяє пілоту витримувати потрібний кут зниження. Глісада задається аналогічним методом, для чого діаграма напрямленості глісадного радіомаяка має дві

перетині пелюстки (рис. 7.7). Нижня пелюстка модулюється частотою 150 Гц, верхня – 90 Гц. Якщо ПК знижується точно за глісадою, вимірювана бортовим приймачем РГМ дорівнює нулю, у разі відхилення від ідеального напрямку РГМ збільшується пропорційно цьому відхиленню, а за знаком РГМ можна визначити, в який бік відхилився ПК (угору чи вниз).

Дальність дії глісадного радіомаяка – 18 км. Частота роботи глісадного радіомаяка становить 328,6–335,4 МГц, яку вибирають залежно від частоти встановленого на аеродромі курсового радіомаяка.

Проліт ПС характерних ділянок на ЗТ визначається за сигналами маркерного радіомаяка, антена система якого формує спрямовану нагору діаграму. Інформативний параметр сигналу в маркерному каналі являє собою амплітуду сигналу, а також код маніпуляції і частоту його модуляції (використовувані для впізнання радіомаяка).

Відповідно до функціонального призначення в РМС метрового діапазону входять три канали: курса, глісади і маркерний, кожен з яких містить відповідний радіомаяк і бортовий радіоприймач із індикаторним приладом - показником курсу та глісади зі звуковими та світловими індикаторами коду МРМ.

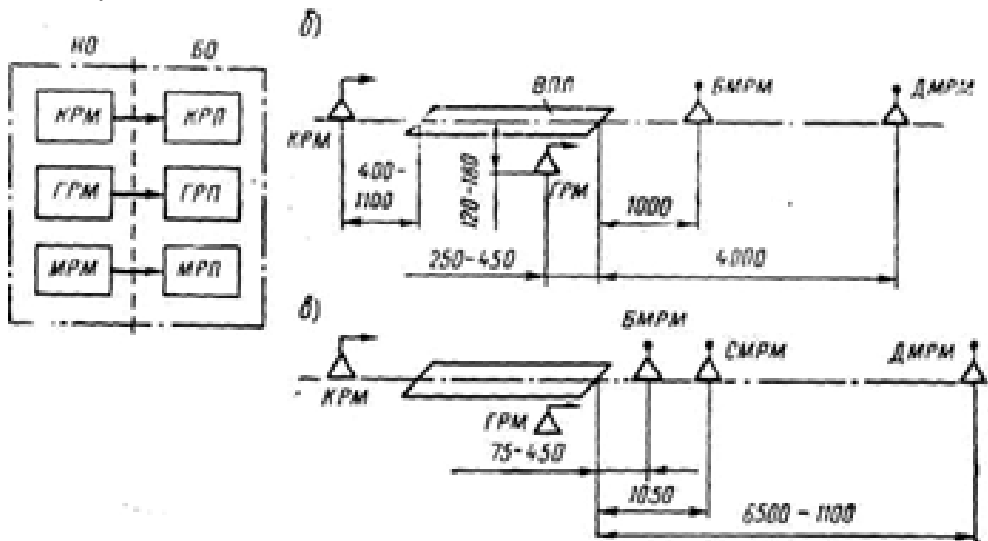


Рисунок 7 – Розміщення системи

Особливості експлуатації інструментальної системи посадки ILS.

Принцип відображення інформації про величину відхилення ПК від необхідної траєкторії зниження показано на рис 8.

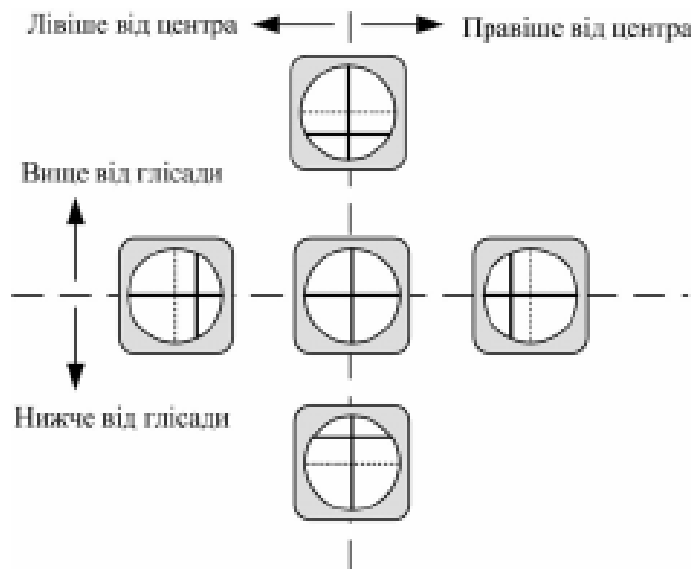


Рисунок 8 – Індикація положення ПС

Система посадки ILS також забезпечує прослуховування членами екіпажу позивних сигналів наземних радіомаяків.

Бортowe обладнання ILS складається з декількох приймачів, глісадної та курсової антен. Кожна з антен з'єднана з приймачами окремими входами. Інформація про величину відхилення від лінії глісади відображається на спеціальному індикаторі або за допомогою системи електронної індикації.



Рисунок 9 – Індикатор системи

Недоліком роботи ILS у метровому діапазоні хвиль є сильний вплив відбитих сигналів і як наслідок – викривлення траєкторії під час наведення ПК на ЗПС. Для послаблення цього фактора застосовують мікрохвильові системи посадки, що працюють у сантиметровому діапазоні хвиль. Порівняно із системами посадки ILS вони мають такі переваги:

- менше залежать від рельєфу та завад,

- ширші кутові розміри зони дії,
- вища точність визначення положення.

Мікрохвильова система посадки (Microwave Landing System –MLS) виконує ту ж функцію, що й система посадки ILS: приймає сигнали двох розташованих на аеродромі радіомаяків MLS, один з яких задає траєкторію наближення до ЗПС за кутом місця, а другий – за азимутом. Діаграма напрямленості азимутального радіомаяка має ножеподібну форму (рис. 7.10) і за час вимірювання здійснює два рухи вліво-вправо в межах сектора від мінус 62° до $+62^\circ$.

Через антену випромінюються незатухаючі коливання. Завдяки швидкому руху на борту ПК приймаються два імпульсні сигнали.

Загальна тривалість між ними пропорційна азимуту ПК. Аналогічні рухи вгору-вниз від необхідного напрямку здійснює діаграма напрямленості глісального радіомаяка. Зона дії MLS за азимутом

становить $\pm 40^\circ$, за кутом місця – $0,9^\circ$ – 20° , дальність дії – 37 км.

Діапазон частот, виділений для кутомірних вимірювань, становить 5031,0–5090,7 МГц, для далекомірних вимірювань – 1000 МГц.

На сучасних ПК установлюються багатофункціональні приймачі, здатні приймати сигнали декількох типів радіомаяків/наприклад, ILS, MLS та VOR.

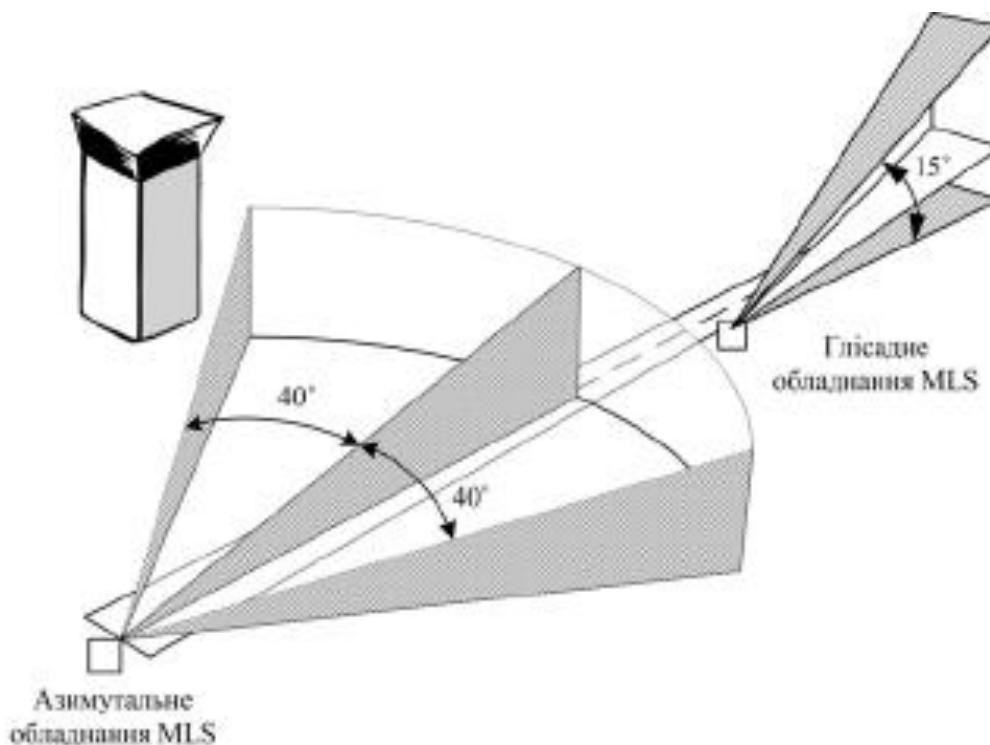


Рисунок 10 – Формування зон випромінювання MLS