

В. Г. Джулгаков, Г. А. Мірошніченко, Д. В. Сокол

УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В. Г. Джулгаков, Г. А. Мірошніченко, Д. В. Сокол

УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Збірник практичних задач

Харків «ХАІ» 2024

УДК [629.735.33.07.08+656.7](076.2)
Д42

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. Ю. О. Кузнєцов,
канд. техн. наук В. О. Кочура

Джулгаков, В. Г.

Д42 Управління повітряним рухом [Електронний ресурс] : зб. практ. задач / В. Г. Джулгаков, Г. А. Мірошніченко, Д. В. Сокол. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2024. – 39 с.

Подано матеріал для проведення практичних занять і самостійного опрацювання з дисципліни «Основи управління повітряним рухом». Наведено рекомендації з розв'язання задач на визначення дальності до літака, його кутової швидкості, азимута й виведення літака на аеродром призначення. Приділено увагу задачам розрахунку нижчого ярусу зони очікування, визначення дійсної висоти польоту літака над аеродромом посадки, барометричної висоти аеродрому, відносної висоти польоту літака над аеродромом та задачам на розрахунок часу й місця початку зниження літака.

Для студентів технічних спеціальностей денної й заочної форм навчання за спеціальностями «Авіоніка» та «Авіаційний транспорт».

Іл. 19. Табл. 2. Бібліогр.: 4 назви

УДК [629.735.33.07.08+656.7](076.2)

© Джулгаков В. Г., Мірошніченко Г. А.,
Сокол Д. В., 2024
© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2024

1. ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗЛЬОТУ І ПРИБУТТЯ ДО АЕРОПОРТУ ПРИЗНАЧЕННЯ

Під час керування повітряним рухом можуть бути такі випадки:

1. У завданні на політ указується лише час прибуття до аеропорту призначення. Для забезпечення своєчасного прибуття літака в призначений термін необхідно перед польотом розрахувати час вильоту.

2. У завданні на політ указується лише час вильоту. Потрібно визначити час прибуття до аеропорту призначення.

Для розрахунку часу вильоту, що забезпечує прибуття літака до аеропорту призначення до зазначеного терміну, необхідно знати такі дані:

- час прибуття згідно із завданням;
- відстань за маршрутом;
- очікувана шляхова швидкість польоту літака;
- час на зліт, набір висоти, політ до вихідного пункту маршруту (ВПМ) і від кінцевого пункту маршруту (КПМ) на посадку.

Приклад 1

Літак має прибути до аеропорту призначення о 17 год 50 хв. Відстань за маршрутом $S = 940$ км. Очікувана шляхова швидкість польоту $V = 640$ км/год. Загальний час на зліт, набір висоти та політ до ВПМ та від КПМ на посадку $t_1 = 13$ хв. Визначити час вильоту.

Розв'язання

1. Визначаємо шляховий час. Відомо, що відстань за маршрутом становить 940 км, а очікувана шляхова швидкість – 640 км/год, тоді

$$t_{ш} = \frac{S}{V} = \frac{940}{640} = 1 \text{ год } 28 \text{ хв} .$$

2. Визначаємо загальну тривалість польоту. Для цього до шляхового часу додаємо час на зліт, набір висоти й політ до ВПМ і від КПМ на посадку:

$$T_{заг} = t_{ш} + t_1 = 1 \text{ год } 28 \text{ хв} + 0 \text{ год } 13 \text{ хв} = 1 \text{ год } 41 \text{ хв} .$$

3. Визначаємо час вильоту. Для цього з призначеного часу прибуття до аеропорту призначення віднімаємо загальну тривалість польоту:

$$T_{вил} = T_{приб} - T_{заг} = 17 \text{ год } 50 \text{ хв} - 1 \text{ год } 41 \text{ хв} = 16 \text{ год } 09 \text{ хв} .$$

Приклад 2

Відповідно до завдання на політ виліт літака має бути здійснено о 9 год 25 хв. Відстань за маршрутом $S = 790$ км. Очікувана шляхова

швидкість польоту $V = 700 \text{ км/год}$. Час на зліт, набір висоти й політ до ВПМ і від КПМ на посадку $t_1 = 9 \text{ хв}$.

Визначити час прибуття до аеропорту призначення.

Розв'язання

1. Визначаємо шляховий час. Відомо, що відстань за маршрутом становить 790 км , а очікувана шляхова швидкість – 700 км/год , тоді

$$t_{\text{ш}} = \frac{S}{V} = \frac{790}{700} = 1 \text{ год } 08 \text{ хв}.$$

2. Визначаємо загальну тривалість польоту. Для цього до шляхового часу додаємо час на зліт, набір висоти й політ до ВПМ і від КПМ на посадку:

$$T_{\text{заг}} = t_{\text{ш}} + t_1 = 1 \text{ год } 8 \text{ хв} + 0 \text{ год } 9 \text{ хв} = 1 \text{ год } 17 \text{ хв}.$$

3. Визначаємо час прибуття до аеропорту призначення. Для цього до часу вильоту додаємо загальну тривалість польоту:

$$T_{\text{приб}} = T_{\text{вил}} + T_{\text{заг}} = 9 \text{ год } 25 \text{ хв} + 1 \text{ год } 17 \text{ хв} = 10 \text{ год } 42 \text{ хв}.$$

Задачі для закріплення матеріалу

1. Літак має прибути до аеропорту призначення о $14 \text{ год } 05 \text{ хв}$. Відстань за маршрутом – 830 км . Очікувана шляхова швидкість польоту – 600 км/год . Час на зліт, набір висоти й політ до ВПМ і від КПМ на посадку – 10 хв . Визначити час вильоту.

Відповідь: $12 \text{ год } 32 \text{ хв}$.

2. Відповідно до завдання на політ виліт літака має відбутися о $3 \text{ год } 10 \text{ хв}$. Відстань за маршрутом – 690 км . Очікувана шляхова швидкість польоту – 650 км/год . Час на зліт, набір висоти й політ до ВПМ і від КПМ на посадку становить 8 хв . Визначити час прибуття.

Відповідь: $4 \text{ год } 22 \text{ хв}$.

3. Літак має прибути до аеропорту призначення о $00 \text{ год } 40 \text{ хв}$. Відстань за маршрутом – 1340 км . Очікувана шляхова швидкість польоту – 780 км/год . Час на зліт, набір висоти й політ до ВПМ і від КПМ на посадку – 7 хв . Визначити час вильоту.

Відповідь: $22 \text{ год } 50 \text{ хв}$.

4. Відповідно до завдання на політ виліт літака має відбутися о $20 \text{ год } 40 \text{ хв}$. Відстань за маршрутом – 1200 км . Очікувана шляхова

швидкість польоту – 500 км/год. Час на зліт, набір висоти й політ до ВПМ і від КПМ на посадку – 9 хв. Визначити час прибуття.

Відповідь: 23 год 11 хв.

2. УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ ЛІТАКІВ 3 ВИКОРИСТАННЯМ РАДІОЛОКАТОРА КРУГОВОГО ОГЛЯДУ

2.1. Визначення дальності до літака та його азимута за радіолокатором кругового огляду

Радіолокатор кругового огляду (РКО) дає змогу виявити літак у польоті й визначити його координати. На екрані РКО літак зображено у вигляді яскравої мітки, яка переміщується по екрану індикатора відносно його центра, залежно від місцезнаходження літака. Для того щоб визначити місцезнаходження літака, необхідно знати відстань до літака та його азимут.

Дальність від РКО до повітряного судна (ПС) визначають за масштабними кільцями, що світяться. Масштаб зображення на екрані можна змінювати при перегляді ближніх і дальніх цілей.

На екрані РКО при масштабі 80 км з'являються вісім масштабних кілець, відстань між якими дорівнює 10 км, при масштабі 200 км – 20 концентричних кіл з відстанню між ними також 10 км, при дальності 400 км – 40 кілець.

Відлік дальності проводять від центра екрана індикатора шляхом підрахунку кількості каліброваних кіл до відмітки літака. У цьому випадку дальність до ПС є похилою. **Похилою дальністю (ПД)** називають відстань від радіолокаційної станції до ПС, яка вимірюється за найкоротшим шляхом (рис. 2.1).

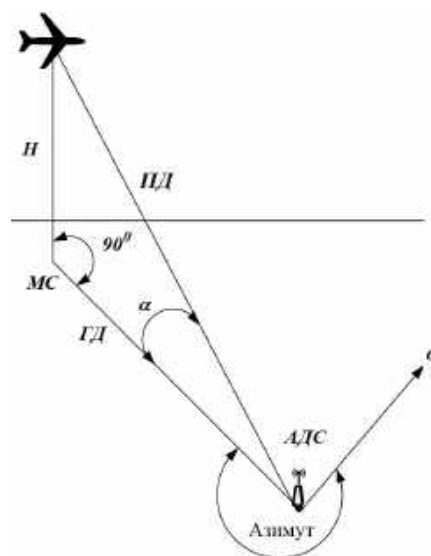


Рис. 2.1. Визначення координат літака з допомогою РКО:
АДС – аеродромно-диспетчерська служба; ГД – горизонтальна дальність

Для вимірювання ПД до ПС з допомогою РКО диспетчер світлоплану на екрані фіксує необхідне ПС, після чого за масштабними кільцями відносно центра визначає, на якому колі знаходиться ПС. Потім відраховує кількість масштабних кілець від центра РКО та помножує на масштабний коефіцієнт. Так отримують ПД.

Приклад 1

Диспетчер світлоплану, переглядаючи зону огляду авіаційно-диспетчерської служби (АДС), виявив літак на екрані індикатора кругового огляду на шостому масштабному кільці у точці А (рис. 2.2). Визначити ПД до літака.

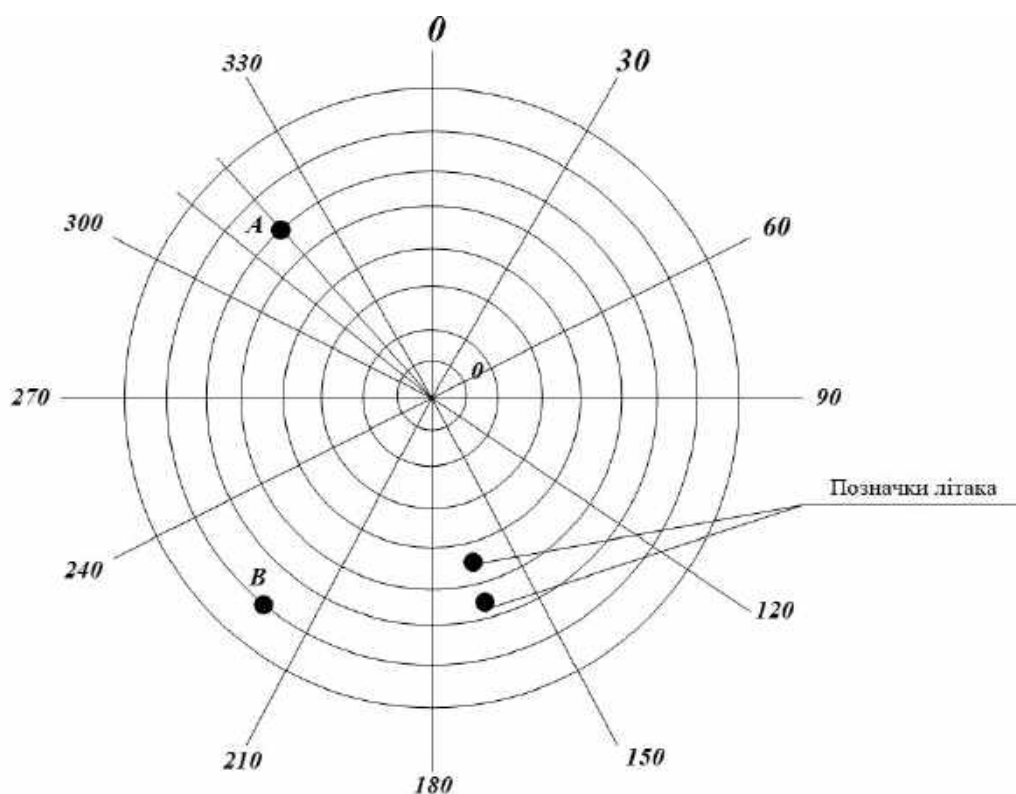


Рис. 2.2. Екран індикатора РКО

Розв'язання

Відраховуємо кількість масштабних кілець від центра індикатора, помножуємо на 10 км, отримуємо:

$$ПД = 6 \cdot 10 = 60 \text{ км}, \quad \text{Азимут } A = 320^\circ.$$

Азимут від розташування радіолокатора на літак відраховується з допомогою азимутної шкали, яку нанесено по колу екрана (див. рис. 2.2).

Оскільки радіолокатор визначає ПД, а не відстань по землі, то необхідно для цілей літаководіння й управління повітряним рухом знати горизонтальну дальність (ГД).

Горизонтальна дальність – це відстань по земній поверхні від радіолокатора до проєкції літака на земну поверхню. ГД необхідно знати для визначення розташування ПС і шляхової швидкості. **Місце літака**, що визначається за РКО, повідомляється на борт літака як величина **дійсного пеленга літака** (ДПЛ) і відстань від радіолокатора до літака.

Розрахунок горизонтальної дальності може проводитися трьома способами:

– за формулою

$$ГД = \sqrt{ПД^2 - Н^2} ; \quad (2.1)$$

– за спеціальним графіком, основою якого є формула (2.1) (рис. 2.3);

– за навігаційною лінійкою.

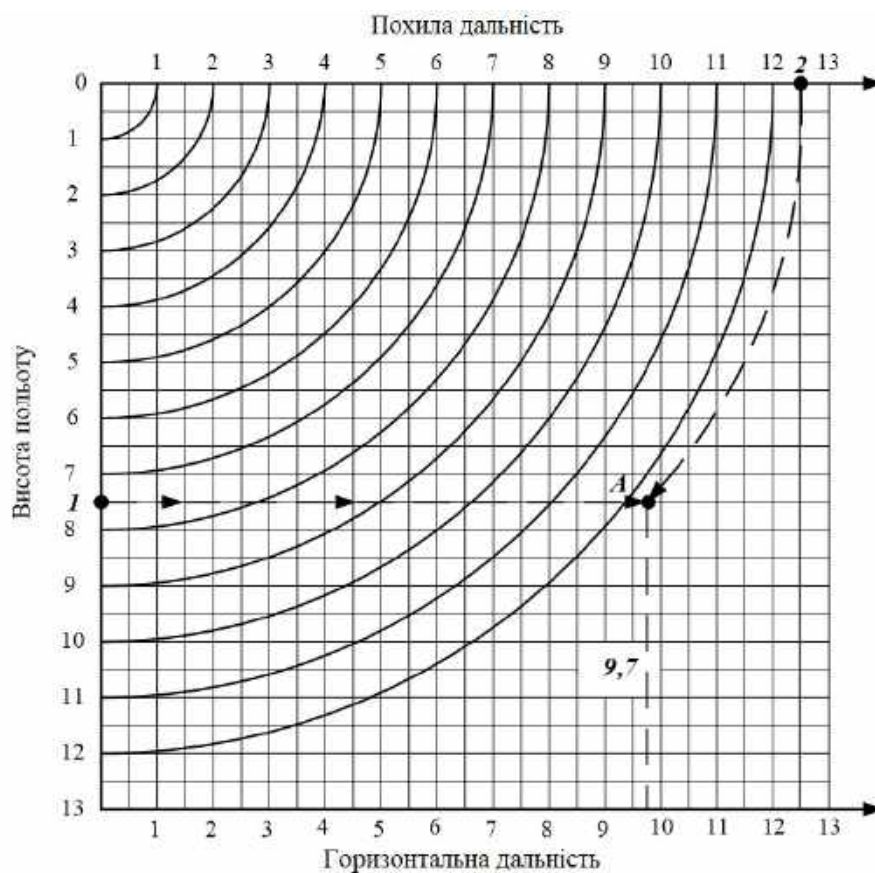


Рис. 2.3. Графік переходу ПД у ГД

Приклад 2

Під час польоту на $H = 7500$ м було виміряно ПД, що дорівнює 12,5 км. Визначити ГД за графіком.

Розв'язання

1. У лівій частині графіка (див. рис. 2.3) знаходимо точку, що відповідає $H = 7500$ м (точка 1) та з неї проводимо горизонтальну лінію до перетину із інтерпольованою кривою, яка відповідає ПД 12,5 км (точка 2). На перетині прямої та кривої знаходимо точку А.

2. Із точки А проводимо перпендикуляр до перетину за шкалою ГД, звідки маємо $ГД = 9,7$ км.

Задачі для закріплення матеріалу

1. На екрані індикатора кругового огляду літак з'явився на сьомому масштабному кільці. Визначити ПД.

Відповідь: ПД = 70 км.

2. За показаннями екрана індикатора РКО літак з'явився у точці В (див. рис. 2.2). Визначити ПД і азимут.

Відповідь: ПД = 70 км, азимут дорівнює 220° .

3. На екрані індикатора кругового огляду диспетчер оглядового радіолокатора виявив відмітку літака на азимуті 215° і на шостому масштабному кільці, висота польоту $H = 15000$ м. Визначити місце літака.

Відповідь: літак знаходиться в момент спостереження за 57 км від радіолокатора в напрямку дійсного пеленга 215° .

2.2. Визначення шляхової швидкості з допомогою радіолокатора кругового огляду

Для визначення шляхової швидкості W_{II} необхідно знати пройдений шлях S і час вильоту t ($W = S/t$). Пройдений шлях визначається з допомогою оглядового радіолокатора як відстань між двома відмітками літака на екрані індикатора РКО при спостереженні за рухом літака з допомогою світлоплану.

Шляхову швидкість ПС можна визначити, коли ПС знаходиться у сфері дії радіолокатора при таких умовах польоту:

- 1) під час польоту літака від радіолокатора або до нього;
- 2) під час польоту літака у довільному напрямку з постійним магнітним курсом (МК).

Політ літака від радіолокатора або до нього

У момент появи літака на екрані індикатора РКО необхідно ввімкнути секундомір і відрахувати $ПД1$, потім дочекатись його суміщення з наступним концентричним колом, відрахувати $ПД2$ і зупинити секундомір. Потім перевести $ПД1$ і $ПД2$ у $ГД1$ і $ГД2$ відповідно. Далі, обчисливши

$$W = \frac{ГД_2 - ГД_1}{t},$$

визначити шляхову швидкість.

Приклад 3

Реактивний літак прямує від радіолокатора на висоті $H = 12000$ м. Диспетчер світлоплану вирішив визначити шляхову швидкість з допомогою РКО. Для цього він виміряв ПД:

- о 12 год 40 хв 50 с: $ПД1 = 30$ км;
- о 12 год 41 хв 35 с: $ПД2 = 40$ км.

Визначити шляхову швидкість літака W .

Розв'язання

1. Визначаємо час польоту ПС між двома вимірюваннями ПД:

$$t_{II} = t_2 - t_1 = 12 \text{ год } 41 \text{ хв } 35 \text{ с} - 12 \text{ год } 40 \text{ хв } 50 \text{ с} = 45 \text{ с}.$$

2. Визначаємо ГД за висотою $H = 12000$ м та виміряними $ПД1 = 30$ км і $ПД2 = 40$ км:

$$ГД_1 = 27,5 \text{ км}; \quad ГД_2 = 38 \text{ км}.$$

3. Визначаємо пройдену відстань:

$$S_{II} = ГД_2 - ГД_1 = 38 - 27,5 = 10,5 \text{ км}.$$

4. Визначаємо шляхову швидкість:

$$W = S_{II} / t_{II} = 10,5 / 45 = 0,233 \text{ км/с} = 840 \text{ км/год}.$$

Визначення шляхової швидкості під час польоту літака у довільному напрямку з постійним курсом

В основу обчислень покладено рис. 2.4.

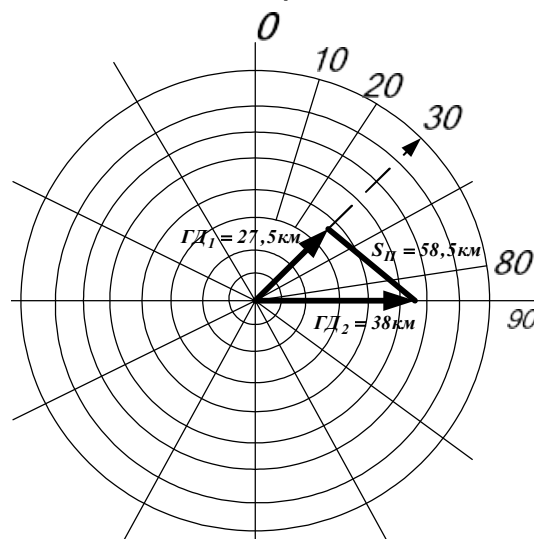


Рис. 2.4. Визначення пройденної відстані з допомогою вітролічильника під час польоту літака у довільному напрямку з незмінним магнітним курсом

Диспетчер світлоплану за індикатором РКО визначає азимут A_1 і $ПД_1$. Зафіксувавши секундомір, визначає A_2 , $ПД_2$ і фіксує час.

Переводить $ПД$ у $ГД_1$ і $ГД_2$ і наносить азимуту A_1 і A_2 на вітролічильник, з допомогою якого визначає відстань, що пройшло ПС у довільному напрямку за час виміру $ПД_1$ і $ПД_2$. Таким чином, знаючи пройдену відстань і час польоту, визначає шляхову швидкість $W = S/t$.

Приклад 4

Під час польоту реактивного літака на висоті $H = 12000$ м з постійним МК і $V_{прил}$ диспетчер світлоплану, спостерігаючи за рухом ПС на екрані індикатора, визначив:

- о 14 год 29 хв: $A_1 = 30^\circ$ та $ПД_1 = 40$ км;
- о 14 год 32 хв: $A_2 = 85^\circ$ та $ПД_2 = 60$ км.

Визначити шляхову швидкість літака з допомогою оглядового радіолокатора (рис. 2.4).

Розв'язання

1. Визначаємо $ГД$ за висотою $H = 12000$ м і вимірними $ПД_1 = 40$ км і $ПД_2 = 60$ км, отримуємо:

$$ГД_1 = 38 \text{ км}; ГД_2 = 58,5 \text{ км}.$$

2. На вітролічильнику лінійку швидкостей встановлюємо на кут $КШ = 0^\circ$.

3. Потім, обертаючи азимутальне коло, встановлюємо його на $A_1 = 30^\circ$ навпроти курсової риски і в цьому напрямку від центра круга відкладаємо у масштабі концентричних кіл $ГД_1 = 38$ км. Таким же чином відкладаємо значення $A_2 = 85^\circ$ і $ГД_2 = 58,5$ км.

4. Після цього визначаємо відстань, що пройшло ПС за час виміру $ПД$. Для цього кінці векторів $ГД_1$ і $ГД_2$ з'єднуємо прямою – і цей відрізок підводимо до робочої межі лінійки швидкостей, де за її шкалою відраховуємо $S_{П} = 44$ км. Цей параметр можна обчислити з більшою точністю, виходячи з трикутника ABC (рис. 2.5).

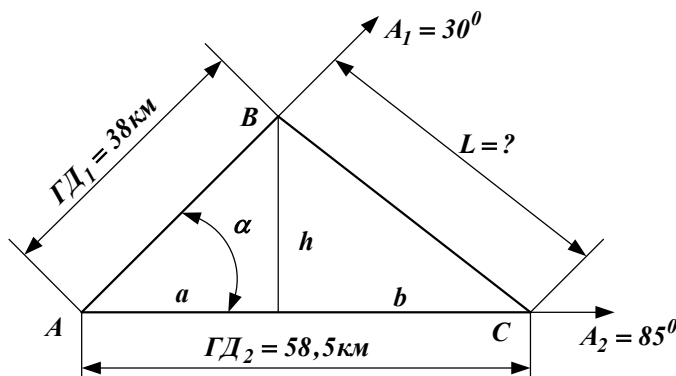


Рис. 2.5. Пояснення до розрахунку шляхової швидкості літака

Час проходження з точки B у точку C

$$t = t_2 - t_1 = 14 \text{ год } 32 \text{ хв} - 14 \text{ год } 29 \text{ хв} = 3 \text{ хв}.$$

Виходячи з трикутника ABC , $L = \sqrt{h^2 + b^2}$, де

$$h = ГД_1 \sin \alpha = ГД_1 \sin(85^\circ - 30^\circ) = ГД_1 \sin 55^\circ = 38 \sin 0,96 =$$

$$= \left\{ \frac{180^\circ - \pi}{55^\circ - x}; x = \frac{55 \cdot 3,14}{180} = 0,96 \right\} = 38 \cdot 0,82 = 31,13 \text{ км};$$

$$b = ГД_2 - a = ГД_2 - ГД_1 \cos 55^\circ = 58,5 - 38 \cos 0,96 = 58,5 - 38 \cdot 0,57 = \\ = 58,5 - 21,79 = 36,7 \text{ км}.$$

Отже,

$$L = \sqrt{h^2 + b^2} = \sqrt{31,3^2 + 36,7^2} = \sqrt{969 + 1346,89} = \sqrt{2315,89} = 48,12 \text{ км}.$$

Визначаємо шляхову швидкість:

$$W = \frac{48,1236}{3} \cdot 60 = 962 \text{ км/год}.$$

Задачі для закріплення матеріалу

1. Диспетчер світлоплану, спостерігаючи за рухом літака на екрані індикатора, визначив:

- о 12 год 59 хв: $НД_1 = 35 \text{ км}$;
- о 13 год 07 хв: $НД_2 = 85 \text{ км}$.

Визначити шляхову швидкість літака, якщо літак прямує від радіолокатора на ешелоні $H = 6000 \text{ м}$.

Відповідь: $W = 374 \text{ км/год}$.

2. Спостерігаючи за рухом літака на екрані індикатора кругового огляду, диспетчер РКО визначив:

- о 14 год 59 хв: $A_1 = 205^\circ$ і $НД_1 = 80 \text{ км}$;
- о 15 год 18 хв: $A_2 = 236^\circ$ і $НД_2 = 140 \text{ км}$.

Визначити шляхову швидкість літака, якщо літак прямує з постійним курсом на ешелоні $H = 2100 \text{ м}$.

Відповідь: $W = 250 \text{ км/год}$.

3. Літак летить на радіолокатор на ешелоні $H = 2700$ м. При появі літака на шостому масштабному кільці екрана індикатора кругового огляду диспетчер світлоплану зафіксував час 17 год 05 хв. Продовжуючи спостерігати за рухом літака, диспетчер зазначив, що літак з'явився на четвертому масштабному кільці о 17 год 11 хв.

Визначити шляхову швидкість літака, якщо відстань між масштабними кільцями становить 10 км.

Відповідь: $W = 200$ км/год.

4. Диспетчер світлоплану, спостерігаючи за рухом літака на екрані індикатора, визначив:

- о 13 год 42 хв: $A_1 = 135^\circ$ і $НД_1 = 130$ км;
- о 13 год 50 хв: $A_2 = 170^\circ$ і $НД_2 = 60$ км.

Розрахувати шляхову швидкість літака, якщо він прямує з постійним курсом на ешелоні $H = 3600$ м.

Відповідь: $W = 680$ км/год.

5. Літак летить від радіолокатора на ешелоні $H = 3300$ м. При появі літака на третьому масштабному кільці екрана індикатора кругового огляду диспетчер світлоплану включив секундомір. Продовжуючи спостерігати за рухом літака, диспетчер зупинив секундомір, коли літак з'явився на п'ятому масштабному кільці.

Визначити шляхову швидкість літака, якщо відстань між масштабними кільцями становить 10 км, а пройдений час $t = 1$ хв 40 с.

Відповідь: $W = 720$ км/год.

2.3. Виведення літака на аеродром призначення з допомогою радіолокатора кругового огляду

Під час управління повітряним рухом ПС у складних метеоумовах як вдень, так і вночі, коли значною мірою ускладнено літаководіння, диспетчер оглядового радіолокатора, спостерігаючи за рухом літаків на екрані РКО, контролює витримувannya екіпажами ПС установлених маршрутів польотів і швидкості за розкладом. При розбіжності фактичних даних руху літака із заданими диспетчер світлоплану дає вказівки екіпажу ПС про змінення режиму польоту: про виправлення шляху прямуювання літака й виходу його на лінію заданого шляху, а також про пришвидшення при запізненні або зменшення швидкості для прильоту на аеродром посадки за розкладом.

Якщо колишня фактична шляхова швидкість не забезпечує своєчасний приліт до пункту призначення, то диспетчер світлоплану дає вказівки екіпажу ПС про відповідне збільшення або зменшення повітряної швидкості, яка забезпечить приліт до пункту призначення в установлений

термін за розкладом. Для цього диспетчер оглядового радіолокатора за частиною розкладу, що лишився, і часом польоту до радіолокатора розраховує необхідну шляхову швидкість.

Приклад 5

Під час прямування літака на радіолокатор на ешелоні $H = 3000$ м з дійсною повітряною швидкістю $V_{\phi} = 320$ км/год та фактичною шляховою швидкістю $W_{\phi} = 340$ км/год диспетчер світлоплану, спостерігаючи за рухом літака, виявив його о 16 год 40 хв на екрані РКО на двадцять першому масштабному кільці.

Визначити необхідну шляхову W_n і дійсну швидкість $V_{\phi n}$, щоб літак прибув до пункту посадки за розкладом о 17 год 15 хв.

Розв'язання

1. Визначаємо відстань, що залишилася до радіолокатора. Оскільки літак у момент спостереження знаходився на двадцять першому масштабному кільці на екрані РКО, то

$$S_{\text{зал}} = 21 \cdot 10 \text{ км} = 210 \text{ км}.$$

2. Визначаємо час польоту, що залишився до радіолокатора:

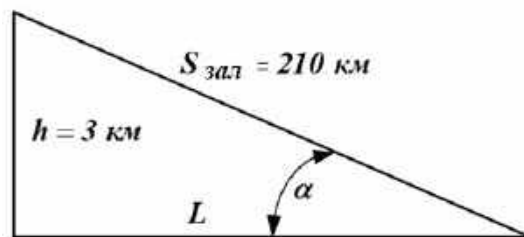
$$t_{\text{зал}} = 17 \text{ год } 15 \text{ хв} - 16 \text{ год } 40 \text{ хв} = 35 \text{ хв}.$$

3. Визначаємо необхідну шляхову швидкість:

а) за $S_{\text{зал}} = 210$ км і $t_{\text{зал}} = 35 \text{ хв} = 0,583$ год на вимірювальній навігаційній лінійці отримуємо:

$$W_n = \frac{210}{35} = \frac{210}{0,583} = 360 \text{ км/год};$$

б) за розрахунками



$$\frac{h}{S_{\text{зал}}} = \sin \alpha = \frac{3}{210} 0,014; \quad \alpha \approx 2,55^\circ.$$

$$\cos \alpha = \cos 2,55^\circ = \cos \left(\frac{2,55 \cdot 3,14}{180} \right) = \cos 0,044 = 0,999;$$

$$L = S_{\text{зал}} \cos \alpha = 210 \cdot 0,999 = 209,8 \text{ км}.$$

$$W_n = \frac{209,8}{35} \cdot 60 = 359,6 \text{ км/год} \approx 360 \text{ км/год}.$$

4. Визначаємо різницю шляхових швидкостей:

$$\Delta W = W_n - W_\phi = 360 \text{ км/год} - 340 \text{ км/год} = 20 \text{ км/год}.$$

5. Визначаємо необхідну дійсну повітряну швидкість:

$$V_{\partial n} = V_\partial + (\pm \Delta W) = 320 \text{ км/год} + 20 \text{ км/год} = 340 \text{ км/год}.$$

У тих випадках, коли екіпаж літака втратив орієнтування або на літаку відмовив радіокомпас, диспетчер РКО виводить літак на аеропорт посадки, у якому розташовано РКО, або на один із запасних аеропортів, де немає РЛС виявлення.

Диспетчер світлоплану дає вказівки екіпажу літака про необхідність набрати максимально можливу висоту польоту для того, щоб збільшити дальність виявлення літака. Після чого з допомогою індикатора кругового огляду визначає місце літака й сповіщає його екіпаж, одночасно вказує курс прямування для польоту на аеродром призначення й час польоту (рис. 2.6). При цьому, якщо оглядовий радіолокатор розташовано в аеропорту призначення, МК польоту до аеропорту посадки визначається за такою формулою:

$$МК = A \pm 180^\circ - (\pm \Delta M).$$

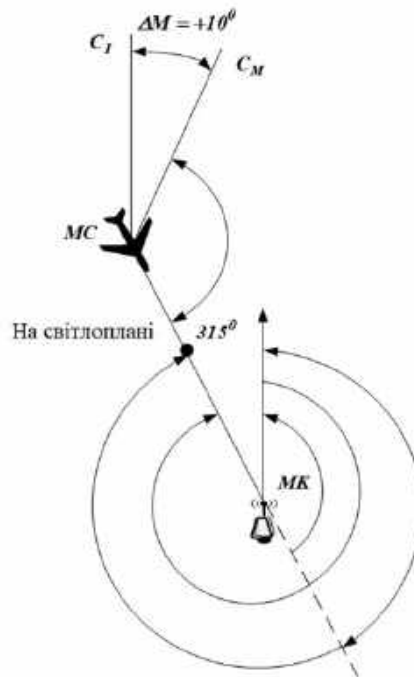


Рис. 2.6. Виведення літака на аеропорт посадки з допомогою РКО

Приклад 6

Екіпаж ПС утратив орієнтацію, про що надіслав повідомлення до районної диспетчерської мережі (РДМ). Диспетчер світлоплану, оглядаючи зону РДСМ на екрані індикатора кругового огляду, виявив відмітку літака на п'ятнадцятому масштабному кільці при його азимуті $A_I = 315^\circ$.

Який МК слід взяти для польоту на радіолокатор, якщо магнітний ухил становить $\Delta M = +10^\circ$, і на якій відстані від радіолокатора знаходиться літак при висоті польоту $H = 2700 \text{ м}$?

Розв'язання

1. Визначаємо МК для прямування на радіолокатор:

$$\Delta MK_I = A \pm 180^\circ - (\pm \Delta M) = 315^\circ - 180^\circ (+10^\circ) = 125^\circ.$$

2. Визначаємо, на якій відстані знаходиться літак:

$$S = 15 \cdot 10 \text{ км} = 150 \text{ км}.$$

Якщо радіолокатор кругового огляду знаходиться поза аеропортом призначення, то МК прямування для польоту на запасний аеродром визначається від місця літака (МЛ), нанесеного на карті (рис. 2.7). Далі, спостерігаючи на екрані індикатора кругового огляду за рухом літака, диспетчер світлоплану вносить відповідні виправлення в режим польоту й виводить літак на запасний аеродром.

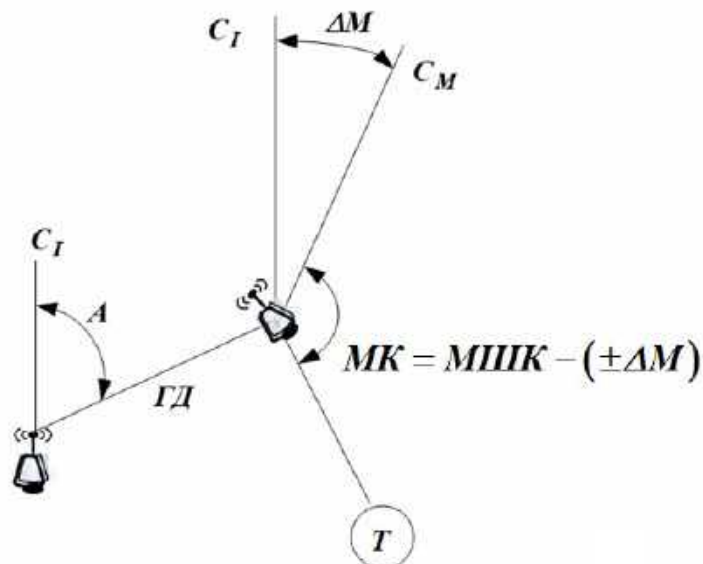


Рис. 2.7. Виведення літака на запасний аеродром з допомогою радіолокатора кругового огляду $MK = MШК - (\pm \Delta M)$

Якщо на екрані індикатора кругового огляду радіолокатора з якихось причин не можна розпізнати літак, що втратив орієнтування, оскільки відмітки літаків на екрані РКО мають однаковий вигляд, то необхідно дати вказівки командиріу ПС про змінення попереднього курсу літака на 90° , тобто взяти контрольний курс. Після чого, спостерігаючи за відмітками літаків на екрані індикатора РКО, розпізнати літак, який зробив цей розворот.

Розпізнати потрібний літак можна також за світлопланом радіолокатора.

Задачі для закріплення матеріалу

1. Екіпаж літака втратив орієнтування, про що повідомив регіональну диспетчерську службу (РДС). Диспетчер світлоплану, оглядаючи зону РДС на екрані індикатора кругового огляду, виявив відмітку літака на тринадцятому масштабному кільці при його азимуті $A_1 = 125^\circ$.

Який МК слід взяти для польоту на радіолокатор у штиль, якщо магнітний ухил становить $\Delta M = +7^\circ$, і в який час має прибути літак до пункту посадки, якщо його повітряна швидкість $V = 390 \text{ км/год}$?

Відповідь: $МК = 298^\circ$ для польоту на радіолокатор у штиль. До пункту призначення літак прибуде через 20 хв.

2. Екіпаж літака втратив орієнтування, про що повідомив РДС. Диспетчер РКО визначив азимут $A = 30^\circ$ і $НД = 160 \text{ км}$ (рис. 2.8).

Який МК слід взяти для польоту на радіолокатор, якщо магнітний ухил становить $\Delta M = -8^\circ$, і в який час прилетить літак, якщо його дійсна повітряна швидкість $V_d = 350 \text{ км/год}$?

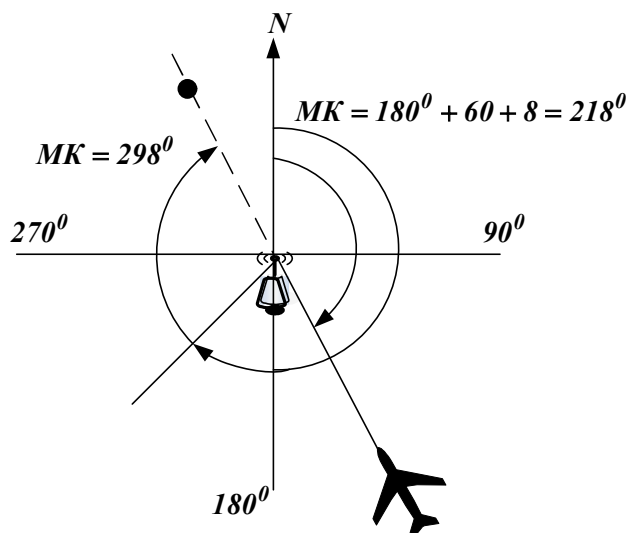


Рис. 2.8. Умови до задачі 2

Відповідь: $МК = 218^\circ$. До пункту призначення літак прибуде через 20 хв.

3. ЗОНА ОЧІКУВАННЯ

3.1. Загальні відомості про зону очікування

Для виключення небезпечного зближення літаків у районі аеропорту під час польоту в хмарах або обмеженою горизонтальною видимістю землі встановлено **зону очікування**. Ця зона розташована зазвичай над дальньою приводною радіостанцією обладнання системи посадки (ОСП), або тимчасової спрощеної системи посадки (ТССП), де літаки, що знаходяться у черзі на посадку, здійснюють польоти на заздалегідь заданих ешелонах прямокутним маршрутом («коробочкою»), або з курсами пробивання хмарності вниз і заходом літака на посадку методом стандартного розвороту. У зоні очікування встановлено яруси висот ешелонування з перевищенням 300 м один над одним: 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100 м тощо, де висота ешелону польоту відраховується за висотоміром, барометричну шкалу якого встановлено на *760 мм рт. ст.*, аналогічно способу витримування ешелонування польотів літаків за висотами на повітряних трасах.

Перший (тобто нижчий) ярус зони очікування за висотою встановлюється для кожного аеродрому окремо з урахуванням рельєфу місцевості та штучних перешкод, а також перевищення рівня розташування цього аеродрому над рівнем моря.

Висота нижчого ярусу зони очікування має бути вищою за безпечну висоту польоту над аеродромом. Розглянемо приклад.

Висота аеродрому над рівнем моря $H = 520 \text{ м}$. Висота штучних перешкод у районі аеродрому $\Delta h = 40 \text{ м}$. Визначити нижчий ярус висоти очікування.

Розв'язання

1. Визначаємо рівень перевищення розташування аеродрому над рівнем моря з урахуванням штучних перешкод:

$$H_{\text{ш}} = H + \Delta h = 520 \text{ м} + 40 \text{ м} = 560 \text{ м}.$$

2. Визначаємо безпечну висоту польоту над аеродромом за висотоміром, барометричну шкалу якого встановлено на *760 мм рт. ст.*:

$$H_{760\text{безп}} = 560 \text{ м} + 600 \text{ м} = 1160 \text{ м}.$$

3. Визначаємо нижчий ярус висоти зони очікування, який має бути розташовано вище від безпечної висоти польоту над аеродромом (*1160 м*), тобто *1200 м* (з урахуванням шкали ярусів).

Диспетчер контрольно-диспетчерського пункту (КДП) або керівник польотів може спрямовувати літак в нижчий ярус зони очікування тільки в тому випадку, якщо барометричний тиск у зоні аеродрому посадки є не меншим за *760 мм рт. ст.* Якщо ж барометричний тиск у зоні аеродрому посадки буде нижчим за *760 мм рт. ст.*, але не меншим за *733 мм рт. ст.*, то літаки слід спрямовувати на другий ярус зони очікування, а при барометричному тиску в зоні пункту посадки меншим за *733 мм рт. ст.* – на третій ярус зони очікування.

У Цивільному повітряному флоті є такі принципові схеми зони очікування над дальньою приводною радіостанцією:

1) у якій літаки знаходяться в черзі на посадку, здійснюючи польоти за методом великої або малої «коробочки», тобто способом прямокутного маршруту;

2) у якій літаки знаходяться в черзі на посадку, здійснюючи польоти за методом стандартного розвороту.

Розглянемо ці схеми більш детально.

3.2. Зона очікування для польоту в ній прямокутним маршрутом малої «коробочки»

Принцип польоту літака по «коробочці» над дальньою радіонавігаційною точкою (ДРНТ) полягає у виконанні прямокутного маршруту (рис. 3.1).

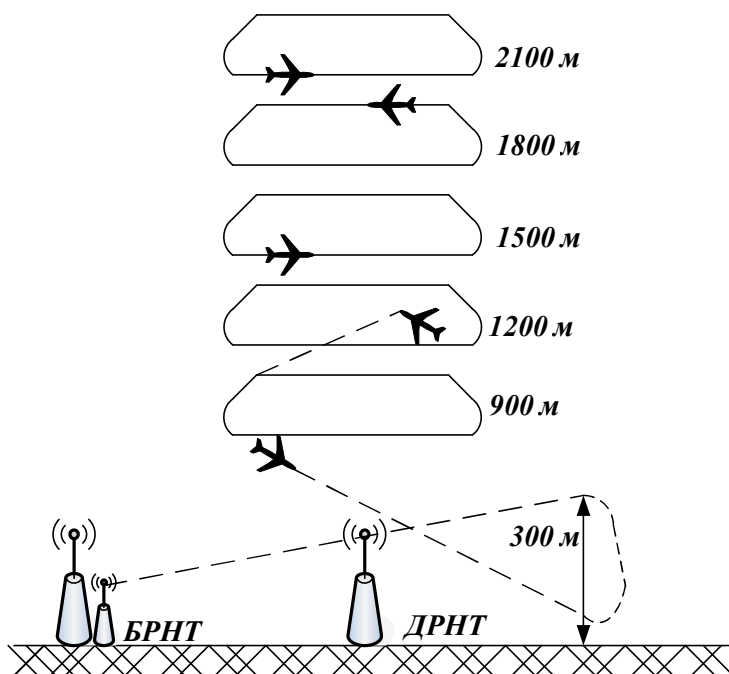


Рис. 3.1. Зона очікування при польотах в ній по «коробочці»

Політ в зоні очікування малою «коробочкою» виконується в такому порядку:

1. Командир корабля, отримавши від керівника польотів або диспетчера КДП дозвіл на проходження в зону очікування, веде літак на дальню провідну радіостанцію системи ОСП (ТССП) на заздалегідь установленому ярусі висоти ешелону прольоту; після прольоту дальньої приводної РНТ бере МК, перпендикулярний до посадкових магнітних шляхових кутів (ПМШК), і вмикає секундомір, продовжуючи політ цим курсом протягом однієї хвилини (рис. 3.2).

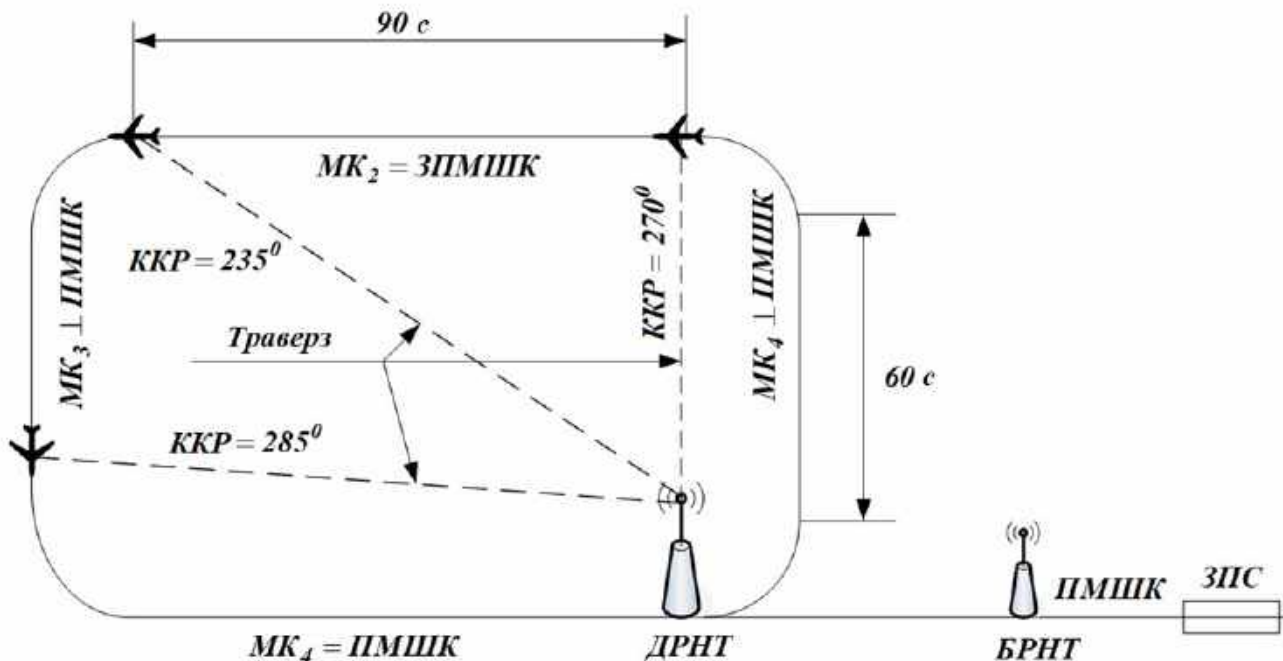


Рис. 3.2. Принципова схема виконання малої лівої «коробочки»: ЗПМШК – зворотний ПМШК; БРНТ – ближня радіонавігаційна точка

2. Після цього командир ПС виконує другий розворот на курс, зворотний посадковому, тобто бере МК2 і веде літак доти, доки радіокомпас не покаже $ККР = 270^\circ$ (при лівій «коробочці») або $ККР = 90^\circ$ (при правій «коробочці»), включивши при цьому секундомір.

3. Після 90 с польоту з МК2 від траверзу РНТ командир ПС виконує третій розворот, тобто бере МК3, перпендикулярний до ПМШК. Момент початку виконання третього розвороту контролюється за $ККР = 235^\circ$ (при лівій «коробочці») або $ККР = 125^\circ$ (при правій «коробочці»).

4. Потім, коли радіокомпас покаже $ККР = 285^\circ$ (при лівій «коробочці») або $ККР = 75^\circ$ (при правій «коробочці»), командир ПС виконує четвертий розворот і після виведення літака з розвороту продовжує політ з МК4, що дорівнює посадковому до моменту прольоту ДРНТ, після чого продовжує політ прямокутним маршрутом.

3.3. Зона очікування для польоту в ній прямокутним маршрутом великої «коробочки»

Після прольоту ДРНТ командир ПС бере МК, що дорівнює посадковому, і за цим курсом прямує протягом однієї хвилини. Після цього виконує перший розворот за гіронапівкомпасом (ГНК) на курс, менший (при лівій «коробочці») або більший (при правій «коробочці») від посадкового на 90° . З МК1 командир ПС прямує доти, доки радіокомпас не покаже $KKP = 240^\circ$ (при лівій «коробочці») або $KKP = 130^\circ$ (при правій «коробочці»). Після цього виконує другий розворот на 90° і бере МК2, тобто курс, зворотний посадковому, і продовжує політ з МК2. Коли радіокомпас покаже $KKP = 270^\circ$ (при лівій «коробочці») або 90° (при правій «коробочці»), тобто коли літак буде знаходитися на траверзі ДРНТ, командир ПС повідомляє керівнику польотів: «Пройшов траверз дальньої радіостанції» (рис. 3.3).

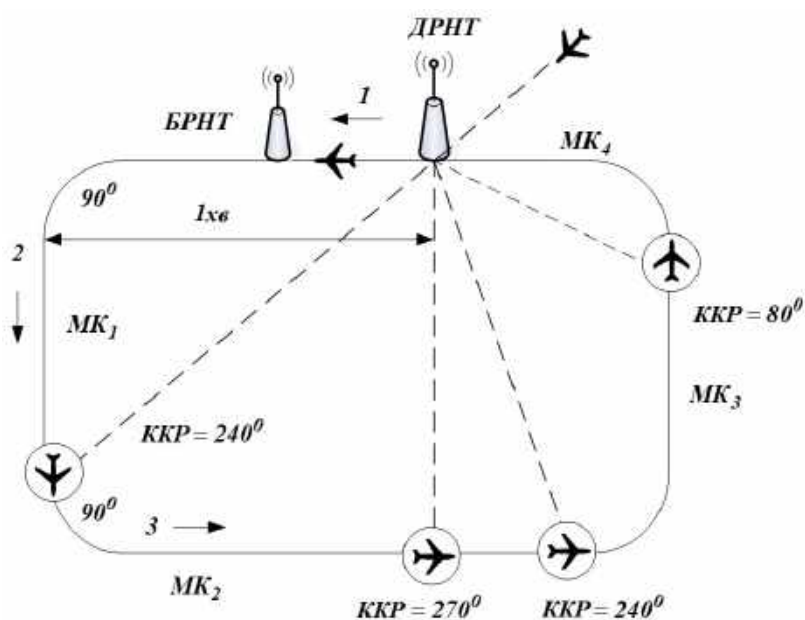


Рис. 3.3. Принципова схема виконання великої лівої «коробочки»

Продовжуючи політ з МК3 доти, доки радіокомпас не покаже $KKP = 240^\circ$ (при лівій «коробочці») або 120° (при правій «коробочці»), командир ПС виконує третій розворот корабля на курс, більший (при лівій «коробочці») або менший (при правій «коробочці») від посадкового на 90° . Потім з МК3 літак прямує доти, доки показання радіолокатора KKP не стануть дорівнювати 80° (при лівій «коробочці») або 290° (при правій «коробочці»), після чого виконує четвертий розворот на посадковий курс, тобто бере МК4.

При виконанні першого, другого, третього й четвертого розвороту командир ПС здійснює політ без утрати й набору висоти (штильові умови).

Під час виконання «коробочки» командир ПС повинен урахувати вплив вітру. Для цього він повинен розрахувати кути знесення на курсах «коробочки» і витримувати напрямок з урахуванням цих кутів знесення, причому розвороти з першого по четвертий слід виконувати на курсових кутах, обчислених з урахуванням узятого попередження. Таким чином, літак, що знаходиться в черзі на посадку, здійснює політ над ДРНТ прямокутним маршрутом.

3.4. Зона очікування для польоту в ній методом стандартного розвороту

Командир ПС, отримавши від керівника польотів або диспетчера КДП дозвіл на входження в зону очікування на відповідний командний ярус висоти, веде літак на дальню привідну радіостанцію пасивним або активним способом. Після прольоту привідної радіостанції командир ПС бере МК, що дорівнює посадковому або зворотному посадковому курсу (залежно від того, під яким кутом літак пройшов ДРНТ відносно посадкового курсу), і йде від РНТ на заздалегідь визначену відстань (до 15...20 км), після чого виконує стандартний розворот і, пройшовши зворотним курсом, знову повертається до ДРНТ (рис. 3.4).

Таким чином, літаки, що знаходяться в черзі на посадку, курсують на заздалегідь заданих ярусах висоти від ДРНТ з курсами паралельно до напрямку курсів пробивання хмарності вниз і заходження на посадку.

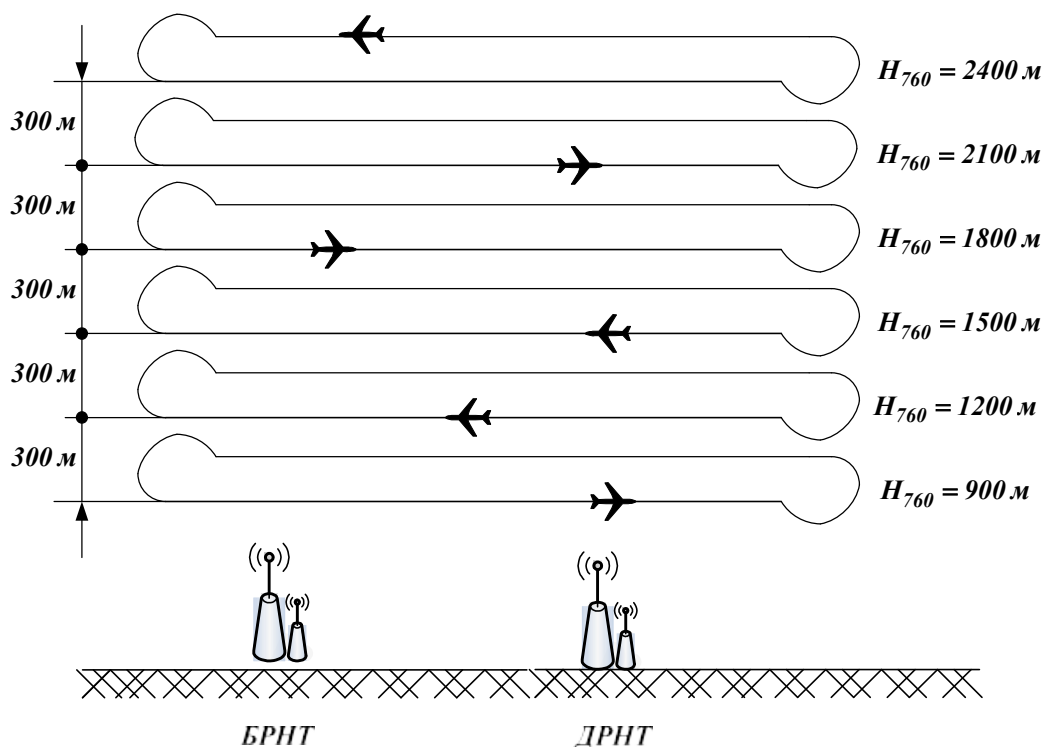


Рис. 3.4. Зона очікування для польоту в ній методом стандартного розвороту

Залежно від умов для забезпечення безпеки польотів зону очікування може бути розташовано не по обидві сторони від ДРНТ, а з однієї (рис. 3.5).

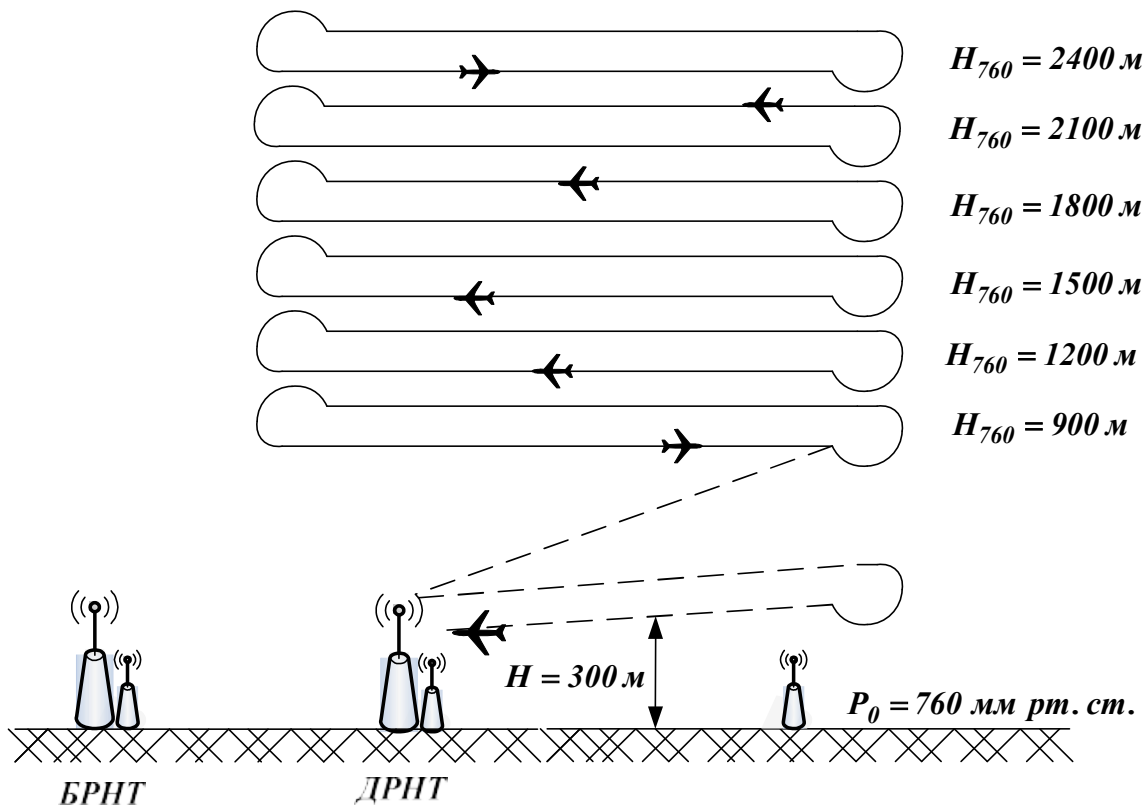


Рис. 3.5. Розташування зони очікування з однієї сторони від ДРНТ

Відстань, пройдену від ДРНТ, визначають за часом і шляховою швидкістю літака. Якщо ж на межах зони очікування встановлено УКХ-маркери або додаткову приводну радіостанцію, то виконання стандартного розвороту починається після прольоту цих радіотехнічних засобів літаководіння.

Піл час польоту літаків у зоні очікування методом стандартного розвороту командири ПС повинні здійснювати розвороти на 180° тільки вліво, причому без зниження й набору висоти.

Літак у зону очікування вводиться, починаючи з нижчого ярусу зони очікування. Літаки з маршруту входять у зону очікування здебільшого на ешелонах, установлених для введення в зону аеропорту. Таким чином, якщо в зону очікування одночасно прямують кілька літаків, то диспетчер КДП розташовує їх на різних ешелонних ярусах з перевищенням на 300 м один над одним.

Диспетчер системи контролю посадки (СКП) керує зниженням літаків з нижчого ярусу зони очікування і їх посадкою.

Водночас диспетчер КДП послідовно знижує на один ярус інші літаки, що знаходяться в зоні очікування.

Починаючи з вихідного положення заходу літака на посадку, барометричні шкали висотомірів на літаку мають бути встановленими на атмосферний тиск аеродрому посадки.

Задачі для закріплення матеріалу

1. Висота аеродрому над рівнем моря $H = 390$ м. Висота штучних перешкод у районі аеродрому $\Delta h = 60$ м. Барометричний тиск у зоні аеропорту 760 мм рт. ст. Які яруси зони очікування можна встановити на цьому аеродромі?

Відповідь: 1200 м, 1500 м, 1800 м, 2100 м, 2400 м, 2700 м.

2. Як встановлюється нижчий ярус зони очікування?

Відповідь: нижчий ярус зони очікування встановлюється так: до висоти аеродрому над рівнем моря з урахуванням штучних і природних перешкод в районі аеродрому додається безпечна висота польоту 600 м. Отримана сума буде безпечною висотою польоту. Нижчий ярус висоти зони очікування має бути вищим від безпечної висоти польоту над аеродромом H_{760} .

3. Висота аеродрому над рівнем моря $H = 245$ м. Барометричний тиск у зоні аеропорту – 740 мм рт. ст. У який ярус зони очікування можна ввести літак?

Відповідь: $245 \text{ м} + 600 \text{ м} + (760 - 740) \cdot 11 \text{ м} = 1120 \text{ м}$; $H_{760} = 1200 \text{ м}$, 1500 м, 1800 м, 2100 м, 2400 м, 2700 м.

4. При якому атмосферному тиску в зоні аеродрому посадки можна вводити літак в зону очікування тільки на третій ярус?

Відповідь: На третій ярус зони очікування вводяться літаки при барометричному тиску в пункті посадки, меншому від 733 мм рт. ст.

5. Висота аеродрому над рівнем моря $H = 890$ м. Висота штучних перешкод в районі аеродрому $\Delta h = 70$ м. Барометричний тиск у зоні аеропорту – 750 мм рт. ст. Визначити нижчий і наступні яруси зони очікування.

Відповідь: 2100 м, 2700 м, 3000 м; $H = 890 \text{ м} + 70 \text{ м} + 600 \text{ м} + 10 \cdot 11 \text{ м} = 1670 \text{ м}$; $H_{760} \approx 1800 \text{ м}$.

6. Чим визначається необхідність виконувати польоти в зоні очікування і як витримувати заданий ярус зони очікування?

Відповідь: для запобігання зіткненню літаків у районі аеропорту, коли літаки прилітають на аеродром посадки одночасно або з невеликим інтервалом часу, заданий ярус зони очікування витримується командиром

ПС за висотоміром, барометричну шкалу якого встановлено на тиск *760 мм рт. ст.*

7. Як називають висоту польоту в зоні очікування на заданому ярусі?
Відповідь: умовно барометричною.

8. Ярус зони очікування $H_{760} = 1500 \text{ м}$. Інструментальна поправка висотоміра $\Delta h = +40 \text{ м}$. Визначити показання висотоміра для польоту в зоні очікування.

Відповідь: $H_g = 1500 \text{ м} - 40 \text{ м} = 1460 \text{ м}$; $H_{760} = 1500 \text{ м}$; $\Delta h = +40 \text{ м}$.

9. При якому атмосферному тиску в зоні аеродрому посадки можна спрямовувати літаки в нижчий ярус зони очікування?

Відповідь: не менше *760 мм рт. ст.*

10. Барометричний тиск у зоні аеропорту становить *730 мм рт. ст.*. У який ярус зони очікування можна ввести літак, якщо висота аеродрому над рівнем моря $H = 295 \text{ м}$?

Відповідь: $295 \text{ м} + 330 \text{ м} + 600 \text{ м} = 1225 \text{ м}$; $\Delta P = 760 - 730 = 30 \text{ мм рт. ст.}$; $11 \text{ м} \cdot 30 = 330 \text{ м}$. Необхідно вводити літак в ярус $H = 1500 \text{ м}$ або в інший вільний ярус.

11. При якому барометричному тиску в зоні аеродрому посадки можна спрямовувати літаки в перший, другий і третій яруси зони очікування?

Відповідь: диспетчер КДП або керівник польотів може спрямовувати літак в нижчий ярус зони очікування тільки в тому випадку, якщо барометричний тиск у зоні аеродрому посадки становить не менше *760 мм рт. ст.* Якщо ж барометричний тиск у зоні аеродрому посадки буде нижчим за *760 мм рт. ст.*, але не меншим від *733 мм рт. ст.*, то літаки слід спрямовувати на другий ярус зони очікування, а при барометричному тиску у зоні аеродрому посадки менше *733 мм рт. ст.* – на третій.

12. МК посадки, виміряний ГНК, становить 300° . Після здійснення четвертого розвороту $МК = 308^\circ$, а значення радіокомпаса $ККР = 352^\circ$. Де знаходиться літак відносно осі злітно-посадкової смуги?

Відповідь: літак знаходиться на лінії посадкового курсу.

4. ЗАСТОСУВАННЯ БАРОМЕТРИЧНИХ ВИСОТОМІРІВ ПІД ЧАС ПОСАДКИ НА АЕРОДРОМИ

Під час пробивання хмарності вниз, заходу літака на посадку й витримування правильної глісади планування необхідно знати істинну висоту польоту над аеродромом, для чого застосовується барометричний висотомір, на барометричній шкалі якого має бути встановлено значення атмосферного тиску в зоні аеродрому посадки.

Постає питання: для чого диспетчеру КДП необхідно передавати на борт літака значення барометричного тиску в зоні аеродрому посадки? Ідеться про те, що під час заходу на посадку в складних метеорологічних умовах значення дійсної висоти польоту над аеродромом є важливим елементом безпеки польоту.

Екіпаж літака, отримавши від диспетчера КДП значення атмосферного тиску в зоні аеродрому посадки, установлює її на барометричних шкалах висотомірів, і тоді їх стрілки будуть показувати дійсну висоту польоту над аеродромом посадки.

Приклад 1

З дозволу авіаційно-диспетчерської служби (АДС) літак прибув у район аеропорту на ешелоні $H = 1200 \text{ м}$ і на цій висоті його було спрямовано в зону очікування. Через деякий час командир ПС, отримавши від КДП дозвіл на пробиття хмарності й захід на посадку, установив на барометричній шкалі висотоміра значення атмосферного тиску в зоні аеродрому посадки, що дорівнює 750 мм рт. ст. .

Визначити дійсну висоту польоту літака над аеродромом, якщо на барометричній шкалі висотоміра встановлено значення атмосферного тиску в зоні аеродрому призначення.

Розв'язання

Якщо на ешелоні $H = 1200 \text{ м}$ командир ПС установить на висотомірі значення барометричного тиску в зоні аеродрому посадки, що дорівнює 750 мм рт. ст. , то стрілки висотоміра відобразять дійсну висоту польоту над аеродромом:

$$H_0 = H_e - (P_{760} - P_0) \cdot 11 \text{ м} = 1200 \text{ м} - 10 \cdot 11 \text{ м} = 1090 \text{ м}.$$

Таким чином, пробиття хмарності, зниження й заходження на посадку необхідно виконувати тільки за висотоміром, на барометричній шкалі якого встановлено значення атмосферного тиску в зоні аеродрому посадки, оскільки при цьому в момент приземлення літака висотомір має показувати нуль висоти.

Якщо значення барометричного тиску в зоні аеродрому посадки передано диспетчером КДП неправильно, то під час заходження літака на

посадку в тумані або при хмарності цілком можливим є його зіткнення із землею в момент, коли висотомір буде показувати *150...200 м*.

Приклад 2

Екіпаж літака виконує рейс маршрутом із пункту «А» в пункт «Б». На підльоті до аеродромної зони пункту «Б» командир ПС отримав від диспетчера КДП АДС дозвіл на вхід у неї та умови польоту в ній.

Погода на аеродромі посадки: висота хмарності $H = 50 \text{ м}$, горизонтальна видимість – 1500 м , напрям вітру – 100° , швидкість вітру – 5 м/с . Значення барометричного тиску передано на борт літака з помилкою: замість 720 мм рт. ст. – 740 мм рт. ст. .

Розв'язання

Розберемо, що могло би статися, якби командир ПС своєчасно не виявив неточність значення атмосферного тиску в зоні аеродрому призначення, переданого від КДП (рис. 4.1).

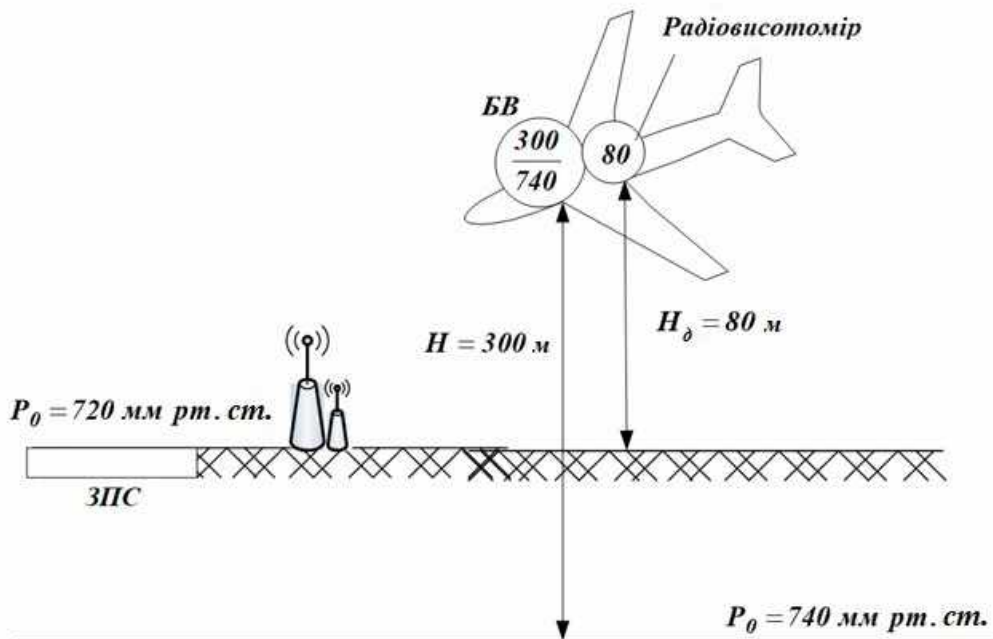


Рис. 4.1. Умови до прикладу 1

Командир ПС, утримуючи за приладом висоту $H = 300 \text{ м}$ поза видимістю землі, фактично змушує літак рухатись ізобарою, що дорівнює 740 , а не 720 мм рт. ст. . Оскільки ізобара, яка дорівнює 740 мм рт. ст. , розташована нижче від рівня аеродрому, то літак після здійснення стандартного розвороту опиниться на дійсній висоті $H_d = 80 \text{ м}$. Якщо командир ПС не вживе належних заходів, то літак зіткнеться із землею до прольоту ДРНТ.

Використання барометричних висотомірів на високогірних аеродромах

На двострілковому барометричному висотомірі можна встановити значення атмосферного тиску від *670 мм рт.ст.* до *790 мм рт.ст.*, оскільки барометричну шкалу таровано в цих межах. Мінімальна межа *670 мм рт.ст.* для деяких високогірних аеродромів є недостатньою, оскільки барометричний тиск у таких районах може бути нижчим. Тому командир ПС не має можливості отримати нульове значення висоти в момент приземлення. Отже, під час посадки ПС на високогірний аеродром, де $P \leq 670 \text{ мм рт.ст.}$, екіпаж зобов'язаний запросити у КДП висоту аеродрому, яка визначається за стандартною атмосферою, тобто барометричну, з допомогою двострілкового висотоміра з $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$. Цю висоту екіпаж бере за нульову.

Висота польоту ПС відносно рівня аеродрому посадки дорівнює показанню висотоміра літака, барометричну висоту на якому встановлено з урахуванням тиску $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$ й інструментальної поправки за відрахунком значення барометричної висоти аеродрому.

Приклад 3

Літак прибув на високогірний аеродром. Командир ПС запросив від КДП барометричну висоту в зоні аеродрому посадки. Коли керівник польотів установив шкалу тисків на значення $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$, то висотомір показав висоту $H = 1300 \text{ м}$. Інструментальна поправка висотоміру $\Delta h = -50 \text{ м}$.

Визначити, яку барометричну висоту аеродрому має повідомити екіпажу літака керівник польотів.

Розв'язання

Оскільки показання висотоміра при встановленні на ньому значення тиску $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$ становить $H = 1300 \text{ м}$, а $\Delta h = -50 \text{ м}$, то барометрична висота аеродрому

$$H_{\text{аеродр}760} + (\pm \Delta h) = 1300 - 50 = 1250 \text{ м}.$$

Приклад 4

Екіпаж літака прибув на високогірний аеродром на ешелоні $H_{760} = 3000 \text{ м}$. За показаннями висотоміра, на барометричній шкалі якого встановлено значення атмосферного тиску $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$, висота аеродрому $H = 1400 \text{ м}$. Це значення було передано керівником польотів командиру ПС. Інструментальна поправка $\Delta h = +40 \text{ м}$.

Визначити дійсну висоту польоту літака над аеродромом посадки (рис. 4.2).

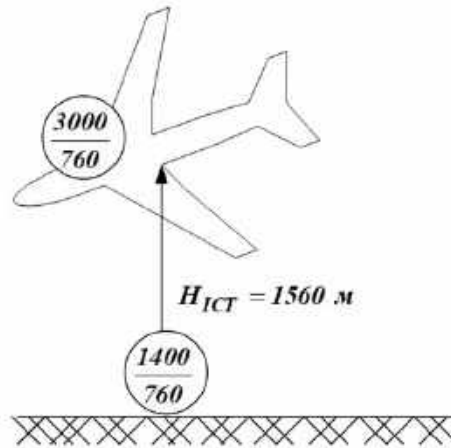


Рис. 4.2. Умови до прикладу 3

Розв'язання

1. Визначаємо, яку барометричну висоту аеродрому повинен передати на борт літака керівник польотів:

$$H_{\text{аеродр}760} + (\pm \Delta h) = 1400 + 40 = 1440 \text{ м}.$$

2. Визначаємо дійсну висоту польоту ПС відносно рівня аеродрому посадки. Оскільки ця висота визначається як різниця між показанням висотоміру літака, на барометричній шкалі якого встановлено значення атмосферного тиску $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$, і значенням барометричної висоти аеродрому, то

$$H_{\text{д}} = H_{760} - H_{\text{аеродр}760} = 3000 - 1440 = 1560 \text{ м}.$$

Приклад 5

Зауваження: зазвичай під час зльоту висотомір установлюють на нульову висоту, але під час зльоту з високогірного аеродрому, де $P < 670 \text{ мм рт. ст.}$, на барометричній шкалі установлюють значення атмосферного тиску $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$, а показання приладу беруть за нуль, тобто $H = 0$.

Екіпаж літака під час зльоту з високогірного аеродрому, на якому атмосферний тиск $P < 670 \text{ мм рт. ст.}$ установив на барометричній шкалі висотоміра значення $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$, при цьому висотомір показав $H = 1750 \text{ м}$. Інструментальна поправка $\Delta h = -50 \text{ м}$.

Визначити відносну висоту польоту літака над аеродромом, якщо він набрав висоту $H_{760} = 2500 \text{ м}$ (рис. 4.3).

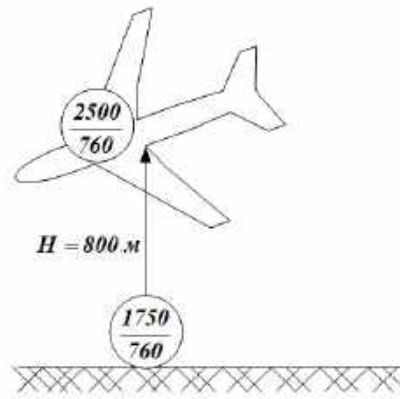


Рис. 4.3. Умови до прикладу 4

Розв'язання

$$H_{\text{аеродр}760} + (\pm \Delta h) = 1750 - 50 = 1700 \text{ м};$$

$$H_B = H_{760} - H_{\text{аеродр}760} = 2500 - 1700 = 800 \text{ м}.$$

5. ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ТА МІСЦЯ ПОЧАТКУ ЗНИЖЕННЯ ЛІТАКА ЗА МАРШРУТОМ ПОЛЬОТУ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЧАСУ ПЕРЕБУВАННЯ НАД АЕРОДРОМОМ ПОСАДКИ

Для зменшення часу знаходження літака над аеродромом посадки дозволяється починати зниження з маршруту, якщо немає зустрічних літаків.

Для розрахунку часу й місця початку зниження необхідно знати такі дані:

- час прибуття до аеропорту посадки за розкладом;
- шляхова швидкість літака при зниженні;
- вертикальна швидкість зниження;
- барометричний тиск у зоні аеропорту посадки;
- задана висота підльоту до аеропорту посадки.

Приклад 1

Літак прямує із Харкова до Києва на ешелоні $H = 2700 \text{ м}$ і за розкладом має прибути до пункту призначення о 14 год 05 хв. Значення барометричного тиску в зоні аеродрому посадки $P = 745 \text{ мм рт. ст.}$

Визначити, у який час і на якій відстані від пункту призначення диспетчер КДП АДС Києва повинен дати вказівку командиріу ПС про початок зниження літака до висоти малого круга над аеродромом –

$H = 300 \text{ м}$, якщо шляхова швидкість під час зниження $W = 290 \text{ км/год}$, а вертикальна швидкість зниження $U_{\text{зниж}} = 2 \text{ м/с}$ (рис. 5.1).

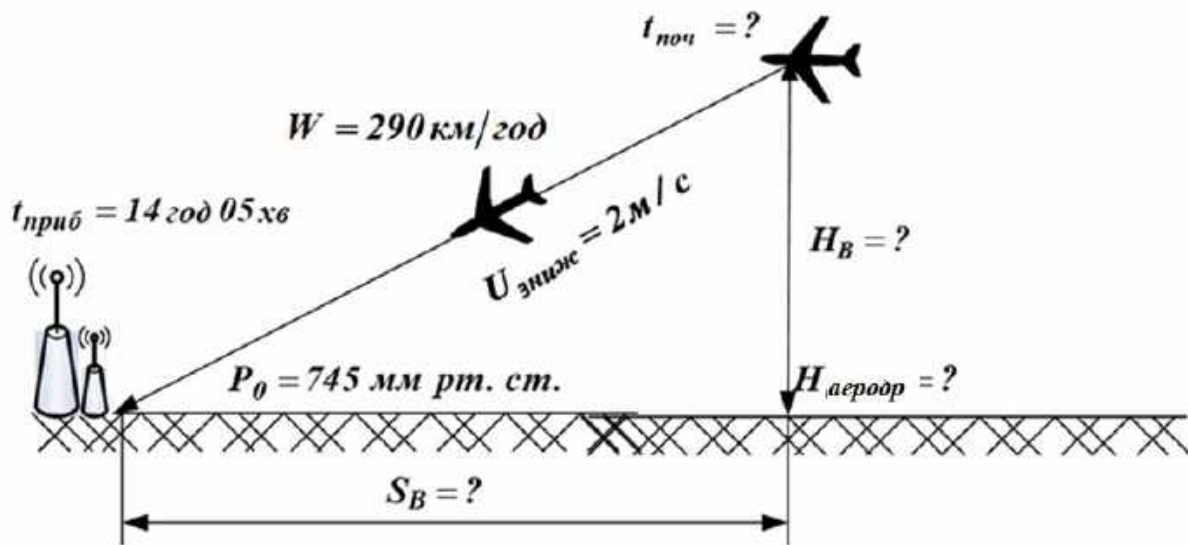


Рис. 5.1. Визначення місця й часу початку зниження

Розв'язання

1. Визначаємо барометричну висоту аеродрому посадки за формулою

$$H_{\text{бар.аеродр}} = 11(P_{760} - P_0):$$

$$H_{\text{аеродр}} = 11(760 - 745) = 11 \cdot 15 = 165 \text{ м}.$$

2. Визначаємо відносну висоту польоту H_B як різницю між висотою ешелону, на якій прямує літак, $H = 2700 \text{ м}$, і барометричною висотою аеродрому посадки $H_{\text{бар.аеродр}}$:

$$H_B = H - H_{\text{аеродр}} = 2700 - 165 = 2535 \text{ м}.$$

3. Визначаємо висоту $H_{\text{вт}}$, яку необхідно втратити. Диспетчер КДП прийняв рішення знижувати літак до висоти $H = 300 \text{ м}$:

$$H_{\text{вт}} = H_B - H = 2535 - 300 = 2235 \text{ м}.$$

4. На розрахунковій навігаційній лінійці визначаємо час, необхідний для втрати висоти на 2235 м при встановленій вертикальній швидкості зниження $U_{\text{зниж}} = 2 \text{ м/с}$:

$$t_{\text{зниж}} = \frac{H_{\text{вт}}}{U_{\text{зниж}}} = \frac{2235}{2} = 1117,5 = \frac{1117,5}{60} = 18,625 \text{ хв} \approx 19 \text{ хв}.$$

5. Визначаємо час початку зниження $t_{\text{поч}}$. Для цього із часу прибуття до аеропорту призначення віднімаємо час, необхідний на зниження:

$$t_{\text{поч}} = t_{\text{приб}} - t_{\text{зниж}} = 14 \text{ год } 05 \text{ хв} - 19 \text{ хв} = 13 \text{ год } 46 \text{ хв}.$$

6. Визначаємо на розрахунковій навігаційній лінійці за шляховою швидкістю $W = 290 \text{ км/год} = 80,5 \text{ м/с}$ під час зниження і часом на зниження $t_{\text{зниж}}$, на якій відстані до аеропорту посадки слід почати зниження, або розраховуємо цю відстань (рис. 5.2).

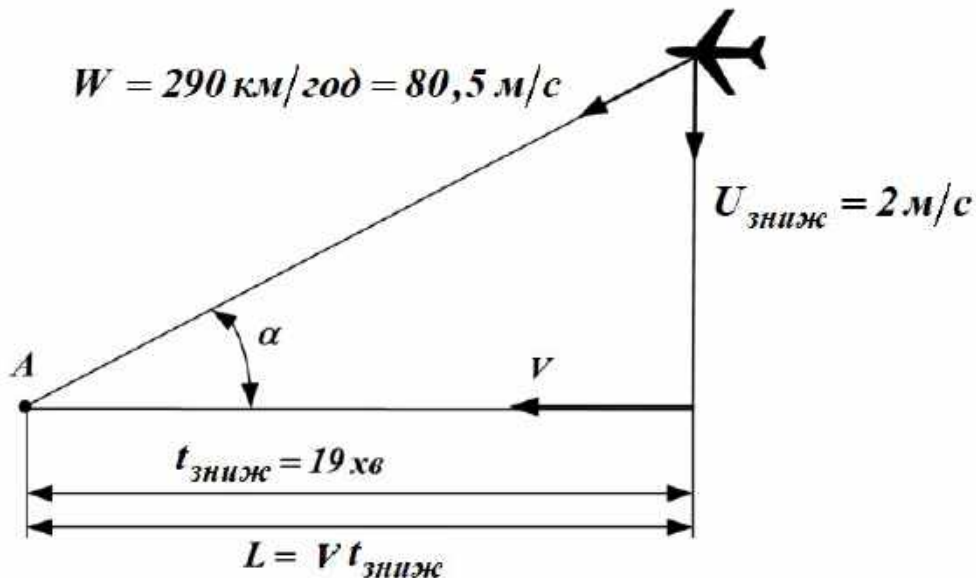


Рис. 5.2. Розрахункова схема для прикладу 1

$$\sin \alpha = \frac{U_{\text{зниж}}}{W} = \frac{2}{80,5} = 0,0248, \quad \alpha = 1,5^\circ, \quad \cos \alpha = \cos 1,5^\circ = 0,9997 \approx 1.$$

$$V = W \cos \alpha = 80,5 \cdot 0,9997 = 80,47585 \text{ м/с}.$$

$$L = V t_{\text{зниж}} = 80,47585 \cdot 19 \cdot 60 [\text{хв}] = 91745,49 \approx 92 \text{ км}.$$

Висновок: оскільки кут зниження знаходиться в межах $1...2,5^\circ$, то можна спростити розрахунки, тому що $\cos(1...2,5^\circ) \approx 1$. Тоді $L \approx 92 \text{ км}$.

Диспетчер КДП АДС повинен дати вказівку командиріу ПС про початок зниження літака, коли ПС знаходиться за 92 км до Києва.

Приклад 2

Із Одеси до Харкова на ешелоні $H = 3000 \text{ м}$ прямує літак, який за розкладом має прибути до пункту призначення о 12 год 10 хв.

Визначити, у який час і на якій відстані до Харкова диспетчер КДП АДС повинен дати вказівку командиріу ПС про початок зниження літака до висоти ярусу зони очікування – $H = 900 \text{ м}$ РНТ пункту призначення, якщо шляхова швидкість під час зниження $W = 285 \text{ км/год}$, а встановлена вертикальна швидкість зниження $U_{\text{зниж}} = 2 \text{ м/с}$.

Розв'язання

1. Визначаємо висоту $H_{\text{вт}}$, яку необхідно втратити. Диспетчер КДП прийняв рішення підводити літак з маршруту до висоти ярусу зони очікування:

$$H_{\text{вт}} = H_B - H = 3000 - 900 = 2100 \text{ м}.$$

2. Визначаємо на розрахунковій навігаційній лінійці час зниження, необхідний для втрати висоти на 2100 м при встановленій вертикальній швидкості зниження:

$$t_{\text{зниж}} = \frac{H_{\text{вт}}}{U_{\text{зниж}}} = \frac{2100}{2} = 1050 = \frac{1050}{60} = 17,5 \text{ хв}.$$

3. Визначаємо час початку зниження $t_{\text{поч}}$. Для цього із часу прибуття до аеропорту призначення віднімаємо час, необхідний на зниження:

$$t_{\text{поч}} = t_{\text{приб}} - t_{\text{зниж}} = 12 \text{ год } 10 \text{ хв} - 17,5 \text{ хв} = 11 \text{ год } 52,5 \text{ хв}.$$

4. Визначаємо, на якій відстані від аеропорту почати зниження:

$$L = W t_{\text{зниж}} = 285 \cdot 17,5 / 60 = 83,125 \text{ км}.$$

Висновок: диспетчер КДП повинен дати вказівку командиріу ПС про початок зниження літака, коли ПС знаходиться за 83,125 км до Харкова.

Задачі для закріплення матеріалу

1. Літак прямує із Києва до Одеси на ешелоні $H = 2100 \text{ м}$ і за розкладом має прибути до пункту призначення о 17 год 10 хв. Значення барометричного тиску в зоні аеродрому посадки $P = 735 \text{ мм рт. ст.}$

Визначити, у який час і на якій відстані від пункту призначення диспетчер КДП АДС Одеси повинен дати вказівку командиріу ПС про початок зниження літака до висоти великого круга над аеродромом $H = 600 \text{ м}$, якщо шляхова швидкість під час зниження $W = 200 \text{ км/год}$, а вертикальна швидкість зниження $U_{\text{зниж}} = 2 \text{ м/с}$.

Відповідь: $t_{\text{ноч}} = 17 \text{ год } 00 \text{ хв}$, $L = 33 \text{ км}$.

2. Літак прямує із Риги до Харкова на ешелоні $H = 2400 \text{ м}$ і за розкладом має прибути до пункту призначення о 21 год 05 хв. Значення барометричного тиску в зоні аеродрому посадки $P = 740 \text{ мм рт. ст.}$

Визначити, у який час і на якій відстані від пункту призначення диспетчер КДП АДС Харкова повинен дати вказівку командиріу ПС про початок зниження літака до висоти великого круга над аеродромом $H = 600 \text{ м}$, якщо шляхова швидкість під час зниження $W = 300 \text{ км/год}$, а вертикальна швидкість зниження $U_{\text{зниж}} = 2 \text{ м/с}$.

Відповідь: $t_{\text{ноч}} = 20 \text{ год } 52 \text{ хв}$, $L = 45 \text{ км}$.

3. Літак прямує зі Львова до Києва на ешелоні $H = 2400 \text{ м}$ і за розкладом має прибути до пункту призначення о 18 год 15 хв. Значення барометричного тиску в зоні аеродрому посадки $P = 745 \text{ мм рт. ст.}$

Визначити, у який час і на якій відстані від пункту призначення диспетчер КДП АДС Києва повинен дати вказівку командиріу ПС про початок зниження літака до висоти зони очікування $H = 900 \text{ м}$, якщо шляхова швидкість при зниженні $W = 245 \text{ км/год}$, а вертикальна швидкість зниження $U_{\text{зниж}} = 2 \text{ м/с}$.

Відповідь: $t_{\text{ноч}} = 18 \text{ год } 03 \text{ хв}$, $L = 49 \text{ км}$.

4. Літак прямує зі Львова до Києва на ешелоні $H = 2700 \text{ м}$ і за розкладом має прибути до пункту призначення о 12 год 10 хв. Значення барометричного тиску в зоні аеродрому посадки $P = 750 \text{ мм рт. ст.}$

Визначити, у який час і на якій відстані від пункту призначення диспетчер КДП АДС Києва повинен дати вказівку командиріу ПС про початок зниження літака до висоти великого круга над аеродромом $H = 600 \text{ м}$, якщо шляхова швидкість при зниженні $W = 260 \text{ км/год}$, а вертикальна швидкість зниження $U_{\text{зниж}} = 2 \text{ м/с}$.

Відповідь: $t_{\text{ноч}} = 11 \text{ год } 54 \text{ хв}$, $L = 71,8 \text{ км}$.

6. ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ НАВІГАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ І ВИЗНАЧЕНЬ

Похибка вимірювання – різниця між виміряним і дійсним значенням будь-якої фізичної величини.

Систематичні похибки – це постійні похибки, які змінюються за певними законами. До них належать методичні й інструментальні (девіація магнітних компасів, похибка барометричних висотомірів тощо).

Випадкові похибки вимірювання – такі похибки, у яких заздалегідь не відомо, яких значень і знака вони набудуть. Розподіл випадкових похибок від нульових до максимальних значень підпорядковується нормальному закону розподілу (закон Гаусса), який дає змогу користуватися теорією ймовірності для оцінювання точності вимірювань навігаційних параметрів. При цьому вказують не точне значення похибки, а межі, у яких вона має знаходитися, і ймовірність знаходження її в цих межах, виражену у відсотках, тобто у скількох випадках зі 100 випадкова похибка не перевищить певного значення.

Точність вимірювання характеризує середню квадратичну похибку (СКП) σ , тобто середнє квадратичне відхилення виміряного значення параметра від його середнього значення. СКП знаку не має.

Згідно з нормальним законом розподілу ймовірність знаходження випадкових похибок у межах

від 0 до σ	становить 68 %,
від 0 до 2σ	становить 95 %,
від 0 до 3σ	становить 99,7 %,

тобто виміряне значення може відхилятися від свого середнього значення (центру розсіювання) не більше, ніж на 3σ .

Основним критерієм надійності результату вимірювання є ймовірність того, що вимірювання певного параметра зроблено з похибкою, яка не перевищує абсолютну величину певного (допустимого) значення. Ймовірність знаходження похибки вимірювання в заданих межах визначають за формулою

$$P(|\Delta_c| < \Delta_q) = \Phi(x) = \Phi\left(\frac{\Delta_q}{\sigma_a \sqrt{2}}\right), \quad (6.1)$$

де Δ_c – випадкова похибка вимірювання; Δ_q – допустима похибка вимірювання; σ_a – СКП; x – аргумент, що являє собою відхилення межі

інтервалу від центру розсіювання у частках СКП, тобто σ ; Φ – функція Лапласа, значення якої наведено в спеціальних таблицях, у яких

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (6.2)$$

Приклад 1

СКП вимірювання відстані $\sigma_S = 100 \text{ м}$.

Визначити ймовірність вимірювання відстані з допустимою похибкою Δ_q , що не перевищує абсолютне значення 150 м .

Розв'язання

1. Підставимо значення величини Δ_q у формулу (6.1) для визначення ймовірності похибки вимірювання і значення аргументу x :

$$P = \Phi\left(\frac{\Delta_q}{\sigma_S \sqrt{2}}\right) = \Phi\left(\frac{150}{100\sqrt{2}}\right) = \Phi\left(\frac{150}{141,4}\right) = \Phi(1,06).$$

2. З допомогою таблиці значень функції Лапласа (табл. 6.1) за аргументом $x = 1,06$ знаходимо шукану ймовірність:

$$P(|\Delta_c| < 150) = \Phi(1,06) = 0,711 = 71,1 \ %.$$

Таблиця 6.1

Значення функції Лапласа для аргументів з діапазону 1,0...1,19

x	Сота частина значення аргументу x									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,0_	0,683	0,687	0,692	0,697	0,702	0,706	0,711	0,715	0,720	0,724
1,1_	0,729	0,733	0,737	0,741	0,746	0,750	0,754	0,758	0,762	0,766

Обернена задача: за заданим значенням функції Лапласа визначаємо відповідний аргумент x , після чого, знаючи σ вимірювання, розраховуємо допустиму величину похибки за формулою

$$\Delta_q = x \sigma_a \sqrt{2}.$$

Приклад 2

Розрахувати допустиму похибку Δ_q при вимірюванні повітряної швидкості польоту, що відповідає ймовірності 95 %, якщо СКП вимірювання швидкості $\sigma_V = 5 \text{ км/год}$.

Розв'язання

1. З допомогою таблиці функції Лапласа зворотним шляхом при $P = 0,95$ вибираємо значення аргументу 1,96 (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Значення функції Лапласа для аргументів з діапазону 1,80...2,09

x	Сота частина значення аргументу x									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,8_	0,928	0,930	0,931	0,933	0,934	0,936	0,937	0,938	0,940	0,941
1,9_	0,943	0,944	0,945	0,946	0,948	0,949	0,950	0,951	0,952	0,953
2,0_	0,954	0,956	0,957	0,958	0,959	0,960	0,961	0,962	0,962	0,963

2. Розраховуємо

$$\Delta_q = x\sigma_V\sqrt{2} = 1,96 \cdot 5 \cdot 1,414 = 13,8 \text{ км/год}.$$

Таким чином, оцінювання похибок вимірювання дає можливість ще на етапі проектування систем навігації та керування польотом вибирати прилади, характеристики яких задовольняють вимоги до точності систем керування, а також відповідним чином формувати алгоритми оброблення навігаційної інформації з метою компенсації похибок вимірювання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

Правила польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху в класифікованому повітряному просторі України : Затв. Мін-вом транспорту України 16.04.2003 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0346-03#Text>

Рогожин, В. О. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден / В. О. Рогожин, В. М. Синеглазов, М. К. Філяшкін. – Київ : Книжк. вид-во НАУ, 2008. – 316 с.

Синеглазов, В. М. Автоматизовані системи управління повітряних суден / В. М. Синеглазов, В. М. Філяшкін. – Київ : Книжк. вид-во НАУ, 2004. – 502 с.

Субота, А. М. Аеродромне обладнання : зб. практ. занять / А. М. Субота, В. Г. Джулгаков. – Харків : ХАІ, 2019. – 96 с.

ЗМІСТ

1. Визначення часу зльоту і прибуття до аеропорту призначення.....	3
2. Управління повітряним рухом літаків з використанням радіолокатора кругового огляду	5
2.1. Визначення дальності до літака та його азимуту за радіолокатором кругового огляду	5
2.2. Визначення шляхової швидкості з допомогою радіолокатора кругового огляду	8
2.3. Виведення літака на аеродром призначення з допомогою радіолокатора кругового огляду	12
3. Зона очікування	17
3.1. Загальні відомості про зону очікування	17
3.2. Зона очікування для польоту в ній прямокутним маршрутом малої «коробочки»	18
3.3. Зона очікування для польоту в ній прямокутним маршрутом великої «коробочки»	20
3.4. Зона очікування для польоту в ній методом стандартного розвороту	21
4. Застосування барометричних висотомірів під час посадки на аеродроми	25
5. Визначення часу та місця початку зниження літака за маршрутом пльоту для зменшення часу перебування над аеродромом посадки	29
6. Оцінювання точності навігаційних вимірювань і визначень.....	34
Бібліографічний список	37

Навчальне видання

**Джулгаков Віталій Георгійович
Мірошніченко Галина Анатоліївна
Сокол Дмитро Вадимович**

УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Редактор О. Ф. Серьожкіна

Зв. план, 2024

Підписано до видання 15.08.2024

Ум. друк. арк. 2,1. Обл.-вид. арк. 2,38. Електронний ресурс

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001