

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

**Циклова комісія аеронавігація**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Безпека авіації: *Безпека авіації*» обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Авіаційний транспорт (Оператор безпілотних літальних апаратів)**

272 Авіаційний транспорт

**ТЕМА №7. ВЗАЄМОЗ'В'ЯЗОК МІЖ РИЗИКОМ ЗІТКНЕННЯ І ЕФЕКТИВНІСТЮ  
ПОЛЬОТІВ ПК. МІНІМУМИ ЕШЕЛОНУВАННЯ**

**Кременчук 2023**

### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

### **СХВАЛЕНО**

Методичною радою Кременчуцького  
льотного коледжу Харківського  
національного університету  
внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

### **ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації, протокол від 28.08.2023 р.

### **Розробник:**

Викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст вищої категорії Журід В.І.

### **Рецензенти:**

1. Професор циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, викладач-методист Тягній В.Г.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

## **План лекції:**

1. Теоретичні основи забезпечення ешелонування повітряних кораблів передмова.
2. Похибки устаткування, або точності навігаційної системи
3. Фактори пов'язані з ефективністю системи у цілому безпека авіації.
4. Вимоги до головних характеристик бортового обладнання

## **Навчальна та наукова література**

1. Бабак В.П. Безпека авіації. Київ «Техніка», 2004.
2. Постанова Верховної Ради. Повітряний кодекс України. Керівний . Київ, 2011.
3. Міністерство транспорту України. Правила польотів у класифікованому повітряному просторі України. Наказ № 293, 295. Київ. 16.03.03, 04.05.05.

## **Додаткова література**

1. Керівництво по розслідуванню АП та інцидентів  
в. Дос 9756-А №965. Монреаль, 2000.
2. Правила розслідування АП з цивільними ПС в Україні. Київ, Державіаслужба, 2005-2010.
3. Керівництво по запобіганню авіаційних пригод  
Дос 9433-А №923 Монреаль, ІКАО, 1987.

## **ВЗАЄМОЗ'ВЯЗОК МІЖ РИЗИКОМ ЗІТКНЕННЯ І ЕФЕКТИВНІСТЮ ПОЛЬОТІВ ПК. МІНІМУМИ ЕШЕЛОНУВАННЯ**

### **ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕШЕЛОНУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ**

3.1. Горизонтальне ешелонування. Перш ніж розглядати фактори, які слід враховувати під час розроблення критеріїв для встановлення мінімумів горизонтального ешелонування, необхідно визначити деякі основні вихідні відомості, пов'язані з ОНР, що відіграють істотну роль в ешелонуванні ПК. В основу системи ОНР покладено принцип, згідно з яким за навігацію відповідає екіпаж ПК. Система ОНР зазвичай не бере на себе відповідальності за навігацію ПК, за винятком деяких обумовлених випадків, коли диспетчер ОНР має набагато більші можливості одержувати інформацію про місцеперебування ПК, ніж екіпаж ПК. В умовах більш активного застосування в ОНР наземних радіолокаторів диспетчеру дедалі частіше потрібно брати на себе деяку частину відповідальності за навігацію. У подібних випадках персонал служби КНР визначає і видає навігаційні вказівки (вектори), потрібні для витримування належної траєкторії польоту. Визначення мінімумів поздовжнього ешелонування ґрунтується на якості наявної в службі ОНР інформації. Визначення бічного ешелонування має ґрунтуватися переважно на точності, з якою пілоти можуть витримувати задану лінію шляху. Мінімуми бічного ешелонування задаються здебільшого у вигляді ширини повітряного простору уздовж маршруту або авіатраси. Час, потрібний для прийняття рішень координатії і радіопередач, може впливати на застосовувані мінімуми поздовжнього «тимчасового» ешелонування, особливо якщо немає прямого зв'язку між пілотом і диспетчером. Однак, навіть незважаючи на це та резерв часу, потрібний для видачі диспетчерських указівок щодо витримування застосовуваних мінімумів, що впливає на встановлення цих мінімумів, вони не є основними факторами, на яких ґрунтуються критерії ешелонування. Більш того, диспетчери служби КНР завжди оперують розрахунковими майбутніми конфігураціями руху ПК, оскільки їм не слід чекати створення умов, за яких інтервали між ПК стануть мінімально припустимими і тільки тоді починати дії з керування.

117 3.1.1. Установлення мінімумів Поздовжнє ешелонування. Є два методи ешелонування ПК у поздовжньому напрямку: ешелонування за часом і ешелонування за відстанню. Ці два методи потребують, щоб надана інформація аналізувалася пристроєм відображення даних у диспетчера. Бічне ешелонування. Горизонтальне ешелонування на основі мінімумів бічного ешелонування варто визначати, виходячи з точності та використовуючи, що досягається зазвичай в умовах регулярних польотів, кожен із запропонованих навігаційних систем, з додаванням обґрунтованих допусків на пілотаж та буферних відстаней. Цю загальну точність, можна, в разі потреби, розділити на точність, забезпечувану наземним устаткуванням, точність бортового устаткування і точність приладових

компонентів. 3.2.2. Фактори, які варто враховувати під час розроблення мінімумів Процедурне ешелонування на підставі мінімумів горизонтального ешелонування потрібно спрямовувати на максимальне досягнення безперешкодного потоку руху за відповідного рівня безпеки. У процесі визначення цих мінімумів доводиться враховувати безліч факторів. Розглянемо основні з них. Фактори місцеперебування ПК. До них належать точність указівки місцеперебування ПК і точність, з якою може витримуватися хід польоту. Розглянемо параметри, від яких вони залежать.

#### **1. Похибки устаткування, або точності навігаційної системи:**

- похибка наземного устаткування;
- похибка бортового устаткування;
- приладова похибка або похибка відображення інформації.

Імовірно, можна розробити таблицю, яка б демонструвала похибки устаткування під час використання кожного методу визначення місцеперебування, однак ПК повинен витримувати кінцеві точності визначення місцеперебування. У деяких випадках комбіновану похибку легше визначити, ніж кожен з її складових, наприклад, серією випробувань або експериментів. Може також виникнути потреба у визначенні місцеперебування з використанням комбінації двох або більше ліній положення, отриманих від різних засобів.

2. Розрахункові похибки, що трапляються, коли постійна індикація місцеперебування ПК не забезпечується або не використовується, і навігація між контрольними точками здійснюється з автономним зчисленням шляху. Це може стосуватися кожного з горизонтальних напрямків або обох відразу. Розрахункові дані КПП тією мірою, якою вони впливають на мінімуми ешелонування, стосуються тільки поздовжнього ешелонування. Бічне ешелонування ґрунтується на здатності ПК витримувати намічену лінію шляху, що визначається можливостями використовуваної навігаційної системи, навіть якщо її основою є тільки автономне зчислення шляху. Якщо навігаційна система забезпечує пілотів безперервне наведення по лінії шляху, бічні відхилення можуть бути зовсім незначними. Проте варто передбачити допуски на можливість ОПП при розрахунку майбутнього тимчасового і просторового взаємного розташування ПК.

3. Експлуатаційні допуски, включаючи відхилення від поточного плану польоту, не потребують повідомлення служби КПП або коригувальних дій пілота, що дозволяє уникнути втручання пілота і/або передач по двосторонньому зв'язку «повітря–земля», від яких було б мало користі як для пілотів, так і для служби КПП. Такі допуски можна визначати кількісно для обох горизонтальних напрямків. Той факт, що пілот повинен повідомляти службу ОПП тільки у випадку похибки розрахункового часу прольоту наступного пункту три хвилини або більше, свідчить про те, що в загальній практиці навряд чи доцільно зобов'язувати пілотів доповідати про менші відхилення. Однак це значення може бути різним залежно від навколишніх умов, а також змінюватись у більший або менший бік згідно з регіональною угодою або за рішенням відповідного повноважного органу ОПП. У випадку бічного ешелонування цей аспект знаходить відображення в тому, що в разі відхилення ПК від лінії шляху екіпаж зобов'язаний якомога швидше після

виявлення відхилення почати дії з відновлення заданої лінії шляху. Фактори керування.

Ці фактори пов'язані з ефективністю системи КПП у цілому; із них можна відокремити такі:

1. Затримання зв'язку в період з моменту події (стосовно ПК, прольоту визначеного місця або ОПП, видачі нового диспетчерського дозволу) до моменту оповіщення про цю подію особи, що потребує такої інформації.

Такі затримання в часі можуть спричинятися: 119

– перенасиченням робочої частоти повідомленнями, передаваними пілотами або диспетчерами через зростання обсягу руху;

– виконанням пілотами інших вищих за пріоритетом обов'язків на борту, включаючи розрахунок часу прольоту наступного пункту;

– виконанням диспетчерами інших вищих за пріоритетом обов'язків через потребу визначати, формулювати, координувати і передавати повідомлення про ці дії;

– потребою передавати дані від диспетчера до диспетчера по телефонному зв'язку або шляхом ретрансляції із застосуванням машинної техніки.

2. Тимчасові похибки, що можуть траплятися за тимчасової прив'язки в ОПП і/або на борту і під час записування часу. Різниця в одну хвилину між фактичним і повідомленим місцеперебуванням або розрахунковими даними може стати досить значущою для розгляду двох ПК відносно один до одного або до інших ПК. Цей параметр має значення лише в умовах застосування поздовжнього тимчасового ешелонування або методу числа Маха. Потрібно враховувати психофізіологічні фактори стосовно як пілотів, так і диспетчерів, зокрема такі: – відповідний досвід роботи в умовах польоту; – психологічний стан відповідного персоналу; – реакцію персоналу, особливо в непередбачених обставинах. Буферний запас. Буферний запас являє собою визначену мінімальну фізичну відстань, що враховує: – зміни траєкторії польоту ПК; – розмір ПК; – додаткову відстань «зазору». Крім зазначених факторів, для визначення мінімумів поздовжнього тимчасового ешелонування під час заходу на посадку потрібно враховувати таке: а) час, протягом якого, як очікується, ПК, що виконує посадку, буде займати злітно-посадкову смугу (ЗПС). Цей час може залежати від: – видимості під час посадки; – вогнів ЗПС, конфігурації, розміщення і світлообладнання сходу із ЗПС; – стану поверхні ЗПС (наприклад, сніг, сльота, лід, вода); 120 б) несприятливі метеорологічні умови. Якщо метеорологічні умови такі, що під час виконання посадки можуть виникнути труднощі, інтервали поздовжнього ешелонування збільшуються, щоб перший ПК міг приземлитися до того, як другий почне знижуватися вздовж останньої ділянки заходу на посадку; в) типи ПК, що послідовно виконують захід на посадку, і розбіжність їх швидкостей; г) додаткові інтервали ешелонування, потрібні для врахування турбулентності; д) вплив вильотів із ЗПС на заходи з тимчасовим ешелонуванням; е) вплив можливих відхилень від установленної траєкторії заходу на посадку у випадку, якщо захід з тимчасовим ешелонуванням починається від точки, що розміщена не в створі ЗПС;

ж) вплив відходів на друге коло; з) інші фактори.

3.1.3. Обґрунтування норм поздовжнього ешелонування повітряних кораблів

Норма поздовжнього ешелонування:  $\Delta L_{\text{реак}} = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 + \Delta L_5$ , де  $\Delta L_1$  – шлях, пройдений ПК2 за час реакції системи «диспетчер – екіпаж – ПК»;  $\Delta L_2 = W t$ ;  $\Delta W = W_2 - W_1$ ;  $\Delta L_3 = t_1 + t_2 + t_3$ ;  $t_1$  – час радіозв'язку по первинному контуру КПП;  $t_2$  і  $t_3$  – час реакції пілота і ПК відповідно;  $\Delta L_4$  – шлях, пройдений ПК2 за середньостатистичний час к перерви в процесі контролю диспетчера;  $k_1 = \Delta W t$ ; розп – шлях, пройдений ПК за середньостатистичний час розп виявлення диспетчером тенденції до зближення; розп розп  $L = \Delta W t$  розп  $t$ ; вип  $L$  – виправлення за час виконання маневру ман  $t$  унаслідок неточного витримувannya шляхової швидкості ПК2; випр  $2 \text{ ман } L \delta W t = \tau$ , де  $\tau$  – інтервал між ПК, потрібний для виконання безпечного маневру, щоб не було перекриття зон імовірного перебування ПК радіусом  $\tau \delta$ . У загальному випадку величину  $\tau \delta$  визначають з виразу  $\delta \tau = \max\{\sigma \tau; \varepsilon \tau\}$ , де  $\sigma \tau$  і  $\varepsilon$  – відповідно точність і роздільна здатність радіолокаційної станції (РЛС);  $W_1, W_2$  – шляхові швидкості ПК (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Обґрунтування норм поздовжнього ешелонування

Дистанцію маневрування ман  $L$  розраховують таким чином. Розглянемо взаємне положення ПК у рухомій системі координат (рис.3.2). Рис.3.2. Визначення дистанції безпечного маневру  $\alpha$

ман  $O X Y W W_1 R_2 R_2 L_{\text{реак}} L_{\text{розп}} L_{\text{вип}} L_{\text{ман}}$

ПК2 ПК1  $\delta \tau \Delta L L_k$

Координати ПК2:  $(x(t), y(t))$

$x(t) = x_0 + W_x t$ ;  $y(t) = y_0 + W_y t$

$x_0 = R \cos \theta$ ;  $y_0 = R \sin \theta$

$R = \sqrt{x^2 + y^2}$

$\theta = \arctan(y/x)$

(3.1) Тоді для безпечного виконання маневру потрібно, щоб за  $\forall t$   $x^2(t) + y^2(t) \geq (\delta \tau)^2$ .

(3.2)

Задаючи кут крену під час виконання маневру з урахуванням можливих помилок його витримувannya, визначаємо радіус розвитку  $R_2$ . Підставляючи рівняння (3.1) у вираз (3.2), розв'язуємо нерівність і визначаємо ман.

3.1.4. Обґрунтування норм бічного ешелонування повітряних кораблів

Норми бічного ешелонування  $\Delta Y_{\text{еш}}$  установлено відповідно до умов безпечного розходження двох ПК, що рухаються на одному ешелоні паралельними курсами, за їх одночасного відхилення в бік зближення (рис.3.3).

Рис. 3.3. Обґрунтування норм бічного ешелонування

З моменту початку повороту від лінії заданого шляху ( $\alpha(1), \alpha(2)$ )  $\delta \delta(1), \delta \delta(2)$   $\delta y W_2 W_1$   $123 (1)(2) \alpha - \alpha$ ) до початку виконання коригувального маневру ( $(1)(2) b - b$ ) ПК зблизяться на величину  $( ) ( ) 1 1 2$  реакрозп  $\tau \Delta Y = W_1 t + W_2 t + t \sin \delta$ , де  $\delta \tau$  – похибка витримувannya курсу під час пілотування ПК (передбачається однаковою для обох ПК). Після початку виконання коригувальних маневрів ПК унаслідок дотримання обмежень за допустимого кута крену зблизяться на відстань  $( )$  доп  $2 2 2 1 2 2 \tan \gamma \delta \tau g W W \Delta Y + =$ . Тоді:  $\{( ) g(W W) (t t t)\} . W W g Y Y Y \tau \tau \tau \tau 2 \sin \delta \tan \gamma 2 \delta \sin \delta 2 \tan \gamma 1 \Delta \Delta \Delta 2 \delta 1 2$  реак  $k o б доп 2 2 2 2 1$  допеш  $1 2 + + + + + = + + + +$

Норми бічного ешелонування не можуть бути застосовані в загальному випадку для встановлення мінімальних інтервалів між паралельними трасами. Якщо мінімуми бічного ешелонування розраховують для забезпечення безпеки повітряного руху, то, організовуючи повітряний рух по паралельних трасах, необхідно виходити з умови припустимого завантаження диспетчера, тобто

прагнути зменшити частоту втручання диспетчера у КПП по паралельних трасах.

3.2. Вертикальне ешелонування Нині вертикальне ешелонування забезпечується використанням таких мінімумів: – 300 м (1000 футів) до ешелону польоту (FL – Flight level) 290 включно; – 600 м (2000 футів) вище FL290 (без скороченого мінімуму вертикального ешелонування (RVSM – Reduced Vertical Separation Minimum)). Досвід показав, що ці значення задовольняють вимоги безпеки за нормальних умов. Проте обумовлюється, що у виняткових випадках сильної турбулентності і під час польотів над гірською місцевістю, коли ПК можуть піддаватися впливові раптових і непередбачених вертикальних переміщень повітря, варто використовувати підвищені значення інтервалів ешелонування. Однак сприятливі метеорологічні умови, особливо в разі тривалих польотів над морем, зазвичай бувають у відносно невеликому висотному діапазоні приблизно від 1200 м (4000 футів) до 1800 м (6000 футів). Оскільки фактор економії палива натеper здобуває значну роль в економіці виконання польотів, проводяться дослідження з метою вивчення можливості скорочення мінімумів вертикального ешелонування вище від FL290, тим самим можна буде забезпечити більшу кількість ешелонів у сприятливих з експлуатаційного погляду висотних діапазонах, особливо в умовах, коли щільність повітряного руху іноді унеможливорює використання всіма ПК сприятливих ешелонів польоту. Ці дослідження показали, що за деякими факторами, які відчутно впливають на скорочення мінімумів вертикального ешелонування, потрібно зібрати більше даних, перш ніж можна буде з упевненістю заявити, що норми вертикального ешелонування можна зменшувати безпечно.

3.2.1. Обґрунтування норм вертикального ешелонування повітряних кораблів Постійне зростання інтенсивності повітряного руху викликає об'єктивну потребу збільшити пропускну здатність повітряного простору, виділеного для польотів ПК цивільної авіації за рахунок скорочення діючих норм ешелонування, у тому числі й вертикального. Таке скорочення у зв'язку зі збільшенням діапазону крейсерських висот дає значний економічний ефект. Але за суворих вимог безпеки польотів норми ешелонування можуть бути переглянуті тільки в разі наукового підходу до їх обґрунтування. Відповідно до відпрацьованої математичної моделі зв'язок між характеристиками окремих засобів вертикального ешелонування, параметрами, що визначають умови їх експлуатації, та ймовірністю вертикального перекриття літаків у повітрі PZ описується співвідношенням 
$$PZ = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{h=0}^{h_0} \frac{W_{12/1}(h)}{N_{nk}} \cdot \Delta N_{nk} \cdot P_{1k} \cdot P_{kn} \quad (3.3)$$
 де  $h_0$  – висота небезпечної зони зближення ПК, що дорівнює висоті «середнього» ПК;  $\Delta N_{nk}$  – номінальний інтервал вертикального ешелонування;  $N_{nk}$  – некомпенсовані систематичні похибки витримання заданої висоти зустрічними ПК;  $W_{12/1}(h)$  – щільність розподілу сумарних похибок витримання заданого інтервалу вертикального ешелонування за аргумента, що дорівнює інтервалу;  $K$  – кількість груп ПК, що відрізняються висотомірним обладнанням;  $k$  – порядковий номер групи ПК;  $P_{1k}$  – імовірність зустрічі ПК основної групи ( $k = 1$ ) з літаком  $k$ -ї групи;  $P_{1n}$ ,  $P_{kn}$  – імовірності, що утворюють повну групу події і характеризують умови роботи висотомірного



обладнання, які впливають на точність витримування заданого інтервалу ешелонування на літаках першої і k-ї груп: нормальну роботу приладів за повного дотримання екіпажем інструкції з їх експлуатації; порушення екіпажем одного з літаків указівок про введення виправлень і порівняння показань показчиків висоти лівого і правого пілотів і т.ін. Оскільки для  $\{1, k\} \quad k \in \sum = \sum = \dots = N \quad n \quad k \quad n \quad N \quad n \quad P \quad n \quad P$ , то ці ймовірності не впливають у цілому на рівень PZ, хоч і визначають його складові за рахунок можливих порушень екіпажами ПК потрібних інструкцій. Щільність розподілу  $n \quad k \quad P \quad n \quad W_{12} / 1P$ , є композицією законів розподілу сумарних похибок витримування заданого ешелону кожним з літаків у першій і k-й групах:  $n \quad n \quad n \quad W_{12}/1P, kP = W_1/1P * W_2/ kP$ , (3.4) де \* – символ згортки. Складові виразу (3.4) за одноканального вимірювання барометричної висоти визначають композицією окремих законів розподілу головних помилок цього способу:  $W_1 = W_a * W_b * W_c$ , (3.5) де a, b, c – індекси, що означають відповідно щільність розподілу похибок приймачів статичного тиску, інструментальних помилок висотомірів і засобів стабілізації висоти. Якщо припустити незалежність зазначених похибок, то згортка (3.5) вироджується в добуток щільностей розподілу. Імовірність Pz є окремою складовою загальної ймовірності зіткнення літаків у повітрі, що характеризує одночасне потрапляння двох ПК у прямокутний паралелепіпед, геометричні розміри якого визначаються розмірами «середнього» ПК. Вона зумовлює вертикальне перекриття пари ПК суміжних ешелонів однієї траси, тобто така подія, за якої вертикальний інтервал між ПК сусідніх ешелонів буде дорівнювати висоті «середнього» літака або менша від неї. Цю ймовірність можна визначити, виходячи з таких тверджень. Нехай на першому ешелоні інтенсивність потоку ПК становить  $\lambda_1$ , а на двох суміжних – у сумі  $(\lambda_2 + \lambda_3)$  за годину. Швидкість ПК припускаємо рівною V. Якщо довжина ділянки маршруту L, то протягом години кожний з  $L\lambda_1/V$  ПК, що перебувають одночасно на першому ешелоні, буде проходити в середньому  $2(\lambda_2 + \lambda_3)$  ПК на зустрічних курсах, тому загальна кількість зустрічей становитиме  $( ) \quad V \quad 2 \quad \lambda_2 + \lambda_3 \quad L \quad \lambda_1$ . Якщо довжина «середнього» ПК  $l_0$ , то час, протягом якого буде спостерігатися перекриття паралелепіпедів уздовж осі траси, складе  $l_0/V$ , а для двох ПК –  $2l_0/V$ . Тоді загальний час перекриття паралелепіпедів протягом години вздовж осі траси:  $( ) \quad 2 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 0 \quad \lambda \quad \lambda + \lambda \quad V \quad L \quad l_1$ . Для певного періоду часу буде справедлива умова  $\sum \sum = i \quad i \quad i \quad i \quad x \quad y \quad x \quad y \quad T \quad t \quad P \quad P \quad P$ , де  $P_{xz}$  – ймовірність одночасного перекриття в горизонтальній площині по осях OX і OY, тобто бічного і поздовжнього перекриттів паралелепіпедів, що апроксимують ПК;  $T_i$  – час проведений цим літаком у секторі за розглянутий період;  $t_i$  – час  $T_i$ , протягом якого i-й літак перебуває одночасно в поздовжньому і бічному перекриттях. 127 Якщо проміжок часу становить  $\tau$ , то:  $\tau ( ) \quad \sum = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \quad V \quad L \quad T \quad i \quad i$ ;  $( ) \quad 4 \quad (0) \quad \tau \quad 2 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 0 \quad \sum = \lambda \quad \lambda + \lambda \quad V \quad L \quad l_1 \quad t \quad P \quad y \quad i \quad i$ , де  $(0) \quad P_y$  – ймовірність того, що два ПК не будуть мати в польоті бічного поділу. Тоді:  $1 \quad 2 \quad 3 \quad 0 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad (0) \quad ( ) \quad \lambda \quad \lambda \quad \lambda \quad \lambda \quad \lambda \quad \lambda + + + = V \quad l \quad P \quad P \quad y \quad x \quad y$ . (3.6) Відомо, що ступінь ризику зіткнення ПК у результаті не витримування норм вертикального ешелонування  $N_{ay}(z)$  показує кількість зіткнень ПК на 107 год нальоту і визначається за формулою  $( ) \quad 0 \quad 7 \quad 2 \quad 10 \quad h \quad V \quad N \quad z \quad P \quad P \quad P \quad z \quad a \quad y =$

х у z , (3.7) де  $V_z$  – відносна швидкість зближення ПК у вертикальній площині. Беручи до уваги, що згідно з даними ІКАО припустимий рівень безпеки становить для реактивних літаків 6,3 авіаційних катастроф на 107 год нальоту, а також з погляду на те, що відповідно до статистики ІКАО із загальної кількості катастроф на маршрутний політ припадає 30%, а на розглянуту причину зіткнень – 25%, та задавшись рівномірнісним розподілом ступеня ризику зіткнення за кожним з видів ешелонування, можна розрахувати припустимий рівень зіткнення літаків на маршруті в результаті порушення норм вертикального ешелонування ( ) доп N z а у . Тоді, підставляючи у формулу (3.7) вираз (3.6), визначимо допустиму ймовірність доп Pz для заданих характеристик інтенсивності повітряного руху: у z а у z l P ( ) ( ) V N (Z) h V ( ) P 0 1 2 3 7 0 1 2 3 доп доп 10 4 0 2 λ λ π λ λ λ + + + = . Підставляючи доп Pz у співвідношення для заданих норм верти- 128 кального ешелонування ΔНеш, можна визначити потрібні нормовані точності для основних сучасних бортових засобів, що забезпечують вертикальне ешелонування ПК у польоті (табл. 3.1). Таблиця 3.1

**Вимоги до головних характеристик бортового обладнання № п/п**

Параметр	Допустимі норми ешелонування ΔНеш, м	1	Середньоквадратична інструментальна похибка висотоміра	300	600	2	Середньоквадратична аеродинамічна похибка	20	40	3	Середньоквадратична похибка стабілізації (витримування) заданої висоти	20	30	4	Не врахована систематична похибка вимірювання висоти	25	50	5	Розбіжність показань висотомірів лівого і правого пілотів на ПК основної групи	100	150
----------	--------------------------------------	---	--	-----	-----	---	---	----	----	---	--	----	----	---	--	----	----	---	--	-----	-----

Відповідно до отриманих розрахунків значення N (z) а у доп має не перевищувати 0,18 авіаційних катастроф на 107 год нальоту, а доп Pz – не більше 10–6 .

**3.3. Комбіноване ешелонування** Комбіноване ешелонування являє собою один з декількох методів ешелонування, які можна застосовувати диспетчерськими органами для забезпечення належних відстаней між ПК. Воно складається з комбінації вертикального й горизонтального ешелонування, причому для кожного компонента використовуються мінімуми, які можуть бути меншими від використовуваних в елементах комбінацій, узятих окремо, але не більше, ніж наполовину. Наприклад, для ПК, що прямують по сусідніх маршрутах у повітряному просторі над океаном, бічне ешелонування 120 м.м. може бути скорочено до 60 м.м. у комбінації з половиною величини нормального вертикального ешелонування 2000 футів, що дає комбіноване ешелонування 60 м.м. (бічне) і 1000 футів (вертикальне) між сусідніми лініями шляху (рис. 3.4). Застосування комбінованого ешелонування дозволяє поліпшити використання повітряного простору. Доведено, що застосування комбінованого ешелонування підвищує показники безпеки системи маршрутів, де величина звичайного бічного ешелонування 129 становить 90 м.м. або більше завдяки розподілу деяких польотів по інших додаткових маршрутах і висотах [25].

**Рис. 3.4. Комбіноване бокове/вертикальне ешелонування** Комбіноване ешелонування застосовують тільки в контрольованому повітряному просторі, де щільність повітряного руху виправдовує впровадження системи паралельних маршрутів або додаткових маршрутів. Воно характеризується меншими обмеженнями, ніж

звичайне бічне ешелонування, що ґрунтується на мінімальних навігаційних характеристиках. У разі застосування комбінованого ешелонування потрібно, щоб рівень безпеки, досягнутий до його впровадження, зберігався або підвищувався. Питання про комбіноване ешелонування можна розглядати, якщо: а) навігація не може здійснюватися або не здійснюється за допомогою засобів ближньої навігації та ґрунтується на радіомаячних засобах дальньої навігації або автономних навігаційних засобах; б) ешелонування ПК спирається на процедури нерадіолокаційного керування; в) частота польотів, що перетинають вісь об'єднаної системи маршрутів, незначна; г) неможливо встановити задовільні процедури оброблення таких польотів. Перш ніж вводити комбіноване ешелонування, варто ретельно вивчити існуючі потоки повітряного руху й зробити експлуатаційні оцінки дисперсії повітряного руху і якості навігаційних характеристик ПК, що використовують цю систему. Варто забезпечити контроль навігаційних характеристик ПК за введеного комбінованого ешелонування, щоб безупинно підтримувати безпеку системи.

1V V 2 1 L 2 1 L 2 1 L 2 1 L 2 1 V 2 1 1V 1V 130

У межах попереднього розгляду системи маршрутів варто оцінити й обговорити із зацікавленими групами основних користувачів таке: – характер повітряного руху, включаючи обсяг руху в протилежному напрямку, зайнятість сусідніх маршрутів і очікувані зміни потоків руху, а також прийнятність процедур оброблення маршрутів польотів; – навігаційні можливості під час польотів на маршруті та в районі контрольних пунктів входу й виходу; – ефективність і надійність зв'язку; – можливості задіяних систем КПП; – ризик зіткнення в зіставленні з наперед наміченим заданим рівнем безпеки. Застосування комбінованого ешелонування вимагає гарантій того, що ПК будуть відповідним чином розташовані на правильних ешелонах і маршрутах при вході в зону застосування комбінованого ешелонування. Радіолокаційний огляд граничних контрольних пунктів будь-якої структури маршрутів, де застосовується комбіноване ешелонування, якщо немає інших засобів точного визначення місцеперебування ПК. Таким чином, розглядаючи можливості впровадження комбінованого ешелонування без застосування радіолокаційного контролю виконання польотів ПК, варто враховувати такі фактори: – наявність надійного двостороннього зв'язку «повітря–земля»; – розміщення й можливості радіомаячних навігаційних засобів, особливо всенаправлених ДВЧ-маяків VOR та далекомірного обладнання (DME – Distance Measuring Equipment), що дозволяють правильно розташувати ПК при вході в зону застосування комбінованого ешелонування; – довжину маршрутів; – метеорологічні умови, які можуть спостерігатися на маршрутах; – типи ПК, що зазвичай використовують ці маршрути. Пропозиції про впровадження комбінованого ешелонування підлягають узгодженню на регіональному рівні. Треба відповідним чином повідомляти держави й експлуатантів про введення комбінованого ешелонування з наданням опису звичайних правил.