

Обґрунтування. На підставі розробленої математичної моделі вважається за можливим вперше провести оцінювання впливу різних чинників (таких, як показник політропи, початкова площа отвору, обсяг, початкова температура повітря у відсіку тощо) на зміну тиску повітря у відсіку. При цьому розроблена математична модель дасть можливість різко скоротити терміни наукових і конструкторських розробок. На підставі отриманих наукових результатів вперше вважається за можливим виконувати газодинамічні розрахунки відсіків під час їх раптової розгерметизації для оцінювання цілісності конструкції ЛА відповідно до нормативних вимог.

2.4. Метод визначення параметрів повітря в кабіні за умови розгерметизації відсіку ЛА

Продовживши дослідження авторів робіт [39, 40, 41, 65, 81, 82] і на підставі проведених досліджень у даній роботі розроблено метод визначення параметрів повітря в кабіні ЛА (метод відсіку), який включає таку послідовність операцій:

1. Кабіну розділяють на один або кілька відсіків, які з'єднані між собою і атмосферою вузлами перепуску газу (отвір, ВК, щілину, вузли перепуску газу). Для кожного відсіку задано його геометричні розміри й інтегральне значення параметрів газу (тиск, температура, густина, швидкість, ентальпія, вологість тощо).

Обґрунтування. Для визначення параметрів газу в кабіні слід провести аналіз конструкторської документації ЛА. На підставі пропонованих вимог до ЛА розробляють вимоги до кабіни і методів її розрахунку. Виходячи з висунутих вимог до ЛА, кабіну розділяють на відсіки. Для кожного відсіку встановлюють залежність повного тиску газу у відсіку (P_0) від маси газу у відсіку (m), температури в загальмованому потоці (T_o), об'єму (V), показника політропи (n), масової витрати підведеного $\left(G_1 = \sum_{i=1}^z G_i\right)$ і відведеного $\left(G_2 = \sum_{j=1}^p G_j\right)$ газу, підведеної $\left(q_1 = \sum_{k=1}^c q_k\right)$ і відведеної $\left(q_2 = \sum_{d=1}^h q_d\right)$ енергії, внутрішньої і зовнішньої роботи $\left(l = \sum_{s=1}^b l_s\right)$, висоти польоту (Н), тиску ($P_{амм}$), густини ($\rho_{амм}$), температури ($T_{амм}$) атмосферного повітря

або повітря суміжного відсіку, параметрів пульсації газу (P_e, T_e, ρ_e) в часі (τ). Залежності між параметрами матимуть такий вигляд: $P_0 = f(m, T_0, V, n, G_1, G_2, q, l, H, P_e, T_e, \rho_e, \tau)$, де z, p, c, h, b – кількість джерел у відсіку; $P_0 = f(m, T_0, V, n, G_1, G_2, q, l, H, P_e, T_e, \rho_e, \tau)$; $G_j = f_2(F, P_0, T_0, q, l, P_{атм}, n, A)$; A – коефіцієнт; $F = f_2(P_0, P_{атм}, \alpha, \tau)$ – площа вихідного отвору; α – кут повороту регулюючого пристрою; $q = q_1 - q_2$. Вибір залежності між параметрами здійснюють через параметри в загальмованому потоці, які безпосередньо використовують для оцінювання цілісності конструкції. Вибір одновимірної, двовимірної або тривимірної моделі визначають у залежності від поставленого завдання під час проектування відсіку й рівня розробленості відсіку. У найзагальнішому вигляді модель відсіку наведено на рис. А.22. Для встановлення залежностей між вищезазначеними величинами реальних відсіків визначають основні конструктивні елементи, геометричні розміри й основні функції досліджуваної кабіни, відсіків, місця установки агрегатів перепуску повітря між відсіками й режими їх роботи, площі для перетікання повітря між відсіками, ВК і т.д. Розробляють моделі ВК і вузлів перепуску газу між відсіками. Визначають початкові значення параметрів газу (тиск, температура, вологість) усередині відсіків і в атмосфері (пункт 25.831 АП-25). За результатами вивчення випадків руйнування шин, які зустрілися на практиці, визначають модель пошкодження колеса й шини [58, 272]. Вважається за можливим сформулювати вихідні дані з урахуванням вимог АП-25, які висувають до кабіни, відсіку й ЛА (пункт 25.831 АП-25), вантажних і багажних відсіків (пункт 25.855), шуму й вібрації в кабіні екіпажу (пункт 25.771 (е) АП -25), захищеності конструкції відсіку від вибуху пневматика (пункт 25.729 (f) АП-25).

2. Розробляють структурну схему кабіни ЛА. Визначають розрахункові випадки, які враховують параметри газу всередині й зовні відсіку, закон зміни тиску газу у відсіку, об'єм відсіку, площу отвору між відсіками для перетікання газу, витрату газу від зовнішніх джерел (СКП), величина нормованого отвору, висота польоту або профіль польоту.

Обґрунтування. Відповідно до вимог ЕНЛГС, АП-25, FAR-25, JAR-25, CS-25

і на підставі отриманих початкових вихідних даних розробляють структурну схему відсіків ЛА. На схемі показують основні відсіки та їх об'єми, вузли перепуску повітря на ЛА. Незважаючи на те, що нормативні вимоги допускають об'єднання відсіків (пункт 25.365 (е) (2) АП-25), необхідно вказувати всі відсіки, які максимально відображають призначення й функції кабіни. Відповідно до вимог АП-25 (пункт 25.841), які висувають до герметичних кабін ЛА, визначають закон зміни тиску повітря в кабіні і зміну параметрів газу. Аналіз структурної схеми відсіків дає підстави сформулювати вихідні дані підведеного і відведеного газу, підведеної і відведеної енергії до відсіку. Визначають величину нормованого максимального отвору (пункт 25.365 (е) (2) АП-25). Визначають розрахункові випадки, які включають вихідні параметри газу у відсіку, висоту польоту, величини отворів і їх характеристики для перетікання газу між відсіками, варіанти течії газів і подачі газу у відсік від зовнішніх джерел газу, режими польоту ЛА (експлуатація кабіни в штатному режимі, екстрене зниження на безпечну висоту (пункт 25.841 (2) АП-25), розгерметизація ГК (пункт 25.843 АП-25), раптова розгерметизація (пункт 25.365 АП-25) та ін.). Розробка структурної схеми і визначення розрахункових випадків дає підстави сформулювати вихідні дані для проведення газодинамічних розрахунків відсіків ЛА щодо забезпечення вимог нормативних документів. Спрощена структурна схема являє собою кабіну ЛА у вигляді складної ТДС [340, с. 47].

3. Визначають систему координат для дослідження газодинамічних процесів у відсіках.

Обґрунтування. На результати опису фізичних явищ впливає вибір системи координат [17, 75, 88, 96, 97, 98, 99]. Тому для опису газодинамічних процесів вибір системи координат може включати такі операції:

а) на підставі набутого теоретичного і практичного досвіду розв'язання даного класу задач або на підставі інтуїції дослідника визначають систему(и) координат. Проводять вибір установок, визначених користувачем, які відображають основні властивості досліджуваного процесу;

б) щодо обраної системи координат проводять дослідження основних закономірностей і визначають модель фізичного явища;

в) за результатами оцінювання результатів експерименту і моделі визначають систему(и) координат, яка спрощує розрахунки.

Для оцінювання запропонованого вибору системи координат необхідно провести дослідження впливу вибору системи координат на результати моделювання процесу газу у відсіку. Встановити, як впливають параметри газу в розроблюваній моделі та обраній системі координат на результати моделювання. Перевагу слід віддати тій системі координат, на підставі якої розроблена модель адекватно описує досліджуваний процес.

4. Проводять аналіз зміни параметрів газу за умови витікання газу з одного відсіку в інший.

Обґрунтування. На зміну параметрів газу у відсіку впливають процеси перетікання газу з одного відсіку в інший. Перетікання газу відбувається через різні регульовальні або дросельні пристрої. Тому для цих пристроїв необхідно провести комплексні газодинамічні й аероакустичні дослідження. За результатами досліджень встановити закономірності зміни витрати газу й РЗТ від основних параметрів досліджуваних пристроїв. На підставі отриманих експериментальних даних вважається можливим встановити функціональну залежність між параметрами витоку газу через параметри гальмування.

5. Встановлення відповідності між параметрами потоку, що рухається в досліджуваних відсіках проводять відповідно до основних рівнянь газодинаміки (наприклад, збереження маси й маси змінного тіла, енергії, кількості руху, стану, політропи). Відсіки розглядають у вигляді закритої (замкненої) і відкритої (розімкнутої) ТДС.

Обґрунтування. Встановлюють залежність між тиском, температурою і густиною газу у відсіку відповідно до законів збереження маси, енергії і змінної маси речовини. При цьому використовують рівняння стану, а відсік розглядають у вигляді закритої або відкритої ТДС. Параметри газу у відсіку змінюються за політропою. Показник політропи визначають на підставі статистичних критеріїв (наприклад, коефіцієнту множинної кореляції, Фішера, Кохрена) за результатами зіставлення розрахунку й експерименту. Використання рівнянь політропи дає змогу

розширити коло розв'язуваних завдань. Для оцінювання силової дії газу на екран записують рівняння кількості руху. Передбачено, що за досліджуваній проміжок часу показник політропи є постійною величиною ($n = const$). Це припущення перевіряють зіставленням результатів розрахунку й експерименту. Визначають найкращий показник політропи, відповідно до якого вважається можливим за допомогою встановленої функціональної залежності між параметрами газу описати зміну параметрів газу у відсіку з достатньою для практики точністю для встановленої залежності й натурального зразка.

6. Встановлення функціональної залежності між параметрами газу у відсіках виконують з урахуванням здійснення внутрішньої і зовнішньої роботи.

Обґрунтування. Встановлення функціональної залежності між параметрами газу у відсіку необхідно проводити за умови, що відсік розглядають у вигляді закритої або відкритої ТДС. Для закритої ТДС встановлюють залежність між тиском, температурою, густиною під час здійснення внутрішньої роботи й зміни параметрів газу за політропою. Така залежність між параметрами дає підстави описати зміну параметрів усередині ТДС. Встановлення залежності через ентальпію і параметри газу в загальмованому потоці дає змогу описати процеси у відсіку за однакової кількості параметрів рухомого й загальмованого потоків ($P = P_0, T = T_0$) і за $P \neq P_0, T \neq T_0$. Для відкритої ТДС встановлено функціональну залежність між параметрами газу, яка описує не лише процеси всередині відсіку, але й процеси взаємодії газу всередині відсіку з навколишнім середовищем. З огляду на складність таких процесів у реальному відсіку було встановлено функціональну залежність між параметрами газу за експериментальними даними. На підставі відкритої і закритої ТДС встановлені функціональні залежності між параметрами газу реальних процесів при зміні параметрів газу за політропою. Для підвищення точності оцінок встановленої функціональної залежності між параметрами газу відповідно до методу найменших квадратів (МНК) необхідно використовувати перешкодостійкі методи [201, 202].

7. Встановлення функціональної залежності між параметрами газодинамічних процесів у відсіку здійснено з урахуванням підведеного і відведеного газу, підведе-

ної і відведеної енергії, змішання газів і вирівнювання параметрів у відсіку.

Обґрунтування. Вплив підведення й відведення газу, енергії на параметри газу у відсіку недостатньо досліджено в роботах [2, 6, 41, 65, 81, 82, 84]. У методі Ейлера питання підведення, змішання й відведення повітря (особливо яскраво це проявляється у разі підведення повітря в кабінку ЛА від декількох джерел стисненого повітря) не розглянуто [34, 36, 71, 91, 276, 350]. Ці питання досліджено під час аналізу процесів у відсіках ЛА [2, 40, 41, 65]. Тому необхідно провести дослідження з встановлення функціональної залежності між параметрами газу процесів у відсіку з урахуванням цих параметрів для реальних відсіків, які мають витоки. Для встановлення функціональної залежності між параметрами процесів у відсіку з урахуванням витоку необхідно провести теоретичні й експериментальні дослідження. Встановлюється залежність у разі витікання газу через отвір змінної площі. Проведені теоретичні дослідження дають змогу здобути часткові розв'язки, які можуть бути використані для перевірки розроблених моделей. На підставі встановлених характеристик витоків вважається можливим встановити залежності між параметрами газу реальних процесів у відсіках ЛА.

8. Режим течії газу у відсіку за умови підведення й відведення газу визначають шляхом зіставлення параметрів газу, що подається (відведеного) і знаходиться у відсіку.

Обґрунтування. Параметри газу у відсіку визначають відповідно до рівняння стану. Зміна цих параметрів відбувається за умови підведення або відведення газу. На зміну параметрів газу у відсіку істотно впливає режим течії газу. Для досліджуваного відсіку з параметрами (P_0, m, T_0, V) за умови підведення газу $(P_{nod}, m_{nod}, T_{nod}, V_{nod})$ визначимо режим течії зі зміни параметрів відповідно до рівнянь:

$$а) \quad \frac{dP_0}{d\tau} = \frac{d(f_1(m, T_0, V))}{d\tau} \text{ за } V = const \quad (\text{функціональна залежність між}$$

параметрами у відсіку; структура функції і рішення задачі наведено в роботі [263]);

$$б) \quad \frac{dP_{nod}}{d\tau} = \frac{d(f_2(m_{nod}, T_{nod}, V_{nod}))}{d\tau} \text{ за } V_{nod} = var \quad (\text{функціональна залежність між}$$

параметрами газу, що подається, структура функції і розв'язок задачі в загальному вигляді наведено в роботах [263, 264]).

Розрахунок параметрів газу у відсіку і підведеного проводять відповідно до наведених рівнянь до виконання умов із заданою точністю: $P \approx P_{nod}, \rho \approx \rho_{nod}, T \approx T_{nod}$. У разі невиконання однієї з цих умов параметри газу у відсіку змінюються в часі і є нестационарними [300]. Відповідно ж із методом Ейлера нестационарний режим течії визначають за умовою, коли лінії струму не збігаються з траєкторіями руху частинок [9, с. 29]. Ці процеси протікають під час підведення й відведення енергії, нерівномірності параметрів газу за об'ємом відсіку, конденсації вологи, деформації відсіку [263]. Характер зміни параметрів газу у відсіку залежить від відношення параметрів газу, що подаються, до параметрів газу у відсіку $\left(\frac{P_{nod}}{P}, \frac{T_{nod}}{T}, \frac{\rho_{nod}}{\rho}\right)$. У разі досягнення значень параметрів газу у відсіку критичних величин і вище утворюється критичний режим течії газу [36, с. 110], [262]. Критичний режим також утворюється за відношення об'ємів (V_{nod}/V). Встановлення таким чином залежності між параметрами газу, що подається, і газу у відсіку дає змогу визначити режим течії і підвищити рівень знання про досліджувані процеси. В опублікованих же роботах [2, 9, 34, 36, 39, 41, 74, 81] визначено режим рухомого газу, а не взаємодія різних газів. Аналогічно визначають режим течії у відсіку за умови відведення газу з відсіку.

9. Відсік розділяють на підвідсіки (підоб'єми), в яких визначають параметри газу відповідно до встановленої функціональної залежності між параметрами газу.

Обґрунтування. Відповідно до встановленої залежності між параметрами газу необхідно провести зіставлення результатів розрахунку й експерименту, визначити адекватність рівняння. Якщо ж за допомогою встановленої залежності не вважається можливим описати рівномірність параметрів газу за об'ємом відсіку, то здійснюють поділ відсіку на підвідсіки (підоб'єми). Для простоти дослідження відсік поділяють на рівні підвідсіки. У кожному підвідсіку параметри газу визначають відповідно до розробленої моделі. Проводять повторення розрахунку параметрів газу в кожному з підвідсіків і визначають адекватність рівняння.

Визначають рівномірність параметрів газу за об'ємом підвідсіку. Якщо не отримано адекватну функціональну залежність, то подальше ділення підвідсіків здійснюють доти, доки не буде отримано адекватну функціональну залежність між параметрами процесів усередині відсіку. Поділ відсіку на підвідсіки дає змогу підвищити точність розробленої моделі й визначити локальні значення параметрів газу у відсіку. Під час витікання газу з «великого» відсіку поділ відсіку на підвідсіки не проводять. Для відсіку виконують умови: $P_0 = P$, $T_0 = T$, $\rho_0 = \rho$. В такому відсіку локальні та інтегральні значення параметрів газу збігаються. У роботах [1, 36, 277, 278, 344] на підставі рівнянь Нав'є-Стокса і Ейлера цю задачу розв'язують іншим шляхом. Інтегральне значення параметрів елементарної струминки отримано за інтегрування локальних значень параметрів газу уздовж лінії течії. Відповідно до розробленого методу як вихідні дані є інтегральне значення параметрів газу у відсіку (об'єму). Локальне ж значення параметрів газу визначають шляхом поділу відсіку на підвідсіки, що дає змогу істотно спростити моделювання процесу.

10. Визначають розрахункові випадки і проводять газодинамічний розрахунок зміни тиску газу у відсіках під час витікання газу з відсіку (відкриття дверей, люків, кранів, ВК або внаслідок руйнування конструкції відсіку, пневматика). Проводять аналіз зміни тиску газу у відсіках в часі й за висотою польоту ЛА. Визначають максимальні тиски або перепади тиску на досліджуваній конструкції. Розробляють методи, способи й засоби для оцінювання цілісності конструкції ЛА.

Обґрунтування. Тиск газу у відсіку є функцією багатьох змінних величин. Вид функції і значення змінних величин істотно залежать від досліджуваних процесів у відсіку і розв'язуваних задач. Для визначення параметрів газу у відсіку необхідно задати розрахункові випадки. Це дає змогу скоротити обсяг досліджень. Розрахункові випадки визначають відповідно до нормативних вимог АП-25, JAR-25, CS-25, FAR-25, які включають початкове значення параметрів газу (тиск і температуру) всередині і зовні відсіку, об'єм(и) відсіку(ів), наявність підведеної і відведеної енергії, площу отвору між відсіками для перетікання газу, витрату повітря від ВКВ, величину нормованого отвору, висоту польоту і режими зміни висоти польоту, режими роботи СКП і ВК, режими витікання повітря з відсіку в

атмосферу або суміжний відсік (утворення отвору за допомогою дверей, люків, кранів, ВК під час руйнування конструкції відсіку, розгерметизації відсіку, раптової розгерметизації відсіку, вибуху пневматика шасі) тощо. Для всіх заданих розрахункових випадків проводять газодинамічний розрахунок зміни параметрів газу у відсіках ЛА. Здобуті розрахункові значення параметрів газу у відсіках використовують для виявлення закономірностей у відсіку й оцінювання цілісності конструкції ЛА. На підставі здобутих розрахункових значень параметрів газу в відсіках розробляють методи, способи і засоби для оцінювання цілісності конструкції ЛА.

У порівнянні з методом Ейлера розроблений метод відсіку містить (трубку струму відповідно до методу Ейлера і модель відсіку відповідно до розробленого методу наведено на рис. А.22):

1. Замість контрольного об'єму (утвореного лініями течії), який був виділений для обґрунтування методу, використовують відсік, заповнений газом. До відсіку підводять (відводять) газ, енергію. Відсік за розмірами і конфігурацією обмежень не має. Досліджують процеси газу у відсіку, для яких записують основні рівняння газодинаміки і аероакустики.

2. Досліджувані параметри газу безпосередньо віднесено до об'єму відсіку (підвідсіку).

3. За інтегральними значеннями параметрів газу у відсіку визначають їх локальні значення шляхом поділу відсіку на підвідсіки. Для великого відсіку значення інтегральних та локальних параметрів газу збігаються.

4. Газодинамічні процеси у відсіку описують з урахуванням підведеного (відведеного) газу і підведеної (відведеної) енергії, змішання й вирівнювання параметрів газу в часі.

5. Встановлення функціональної залежності між параметрами газу процесу у відсіку здійснено за параметрами загальмованого потоку з урахуванням здійснення внутрішньої (зовнішньої) роботи.

6. Режимми течії газу визначають шляхом зіставлення параметрів підведеного