

УДК 629.7.048.7

О.І. Хлисту́н, канд. техн. наук

УМОВИ ЗАХИСТУ ЛІХТАРЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА ВІД КОНДЕНСАЦІЇ ВОЛОГИ

Аерокосмічний інститут НАУ, e-mail: ggsp@nau.edu.ua

Викладено методику визначення розрахункових умов для вибору конструктивних параметрів теплового захисту заклення герметичної кабіни повітряного судна від конденсації парів води..

Вступ

Під час польоту висотного повітряного судна (ПС) на внутрішніх поверхнях заклення герметичної кабіни (ГК) може утворюватися суцільний шар конденсату води у рідинній фазі або льоду. Такі явища є недопустимими для ліхтаря кабіни екіпажу (КЕ) з погляду безпеки польоту ПС.

Захист заклення ГК здійснюють підтриманням температури внутрішньої поверхні скла вище температури точки роси. Для цього використовують повітряно-тепловий або електро-тепловий способи обігріву поверхні скла. Для підбору необхідних проектних параметрів теплового захисту скла початковим пунктом є визначення розрахункових умов, за які потрібна максимальна теплова потужність системи обігріву.

Постановка завдання

Запропонована в 1945 р. методика розрахунку повітряно-теплового захисту скла до теперішнього часу використовується в практиці літакобудування [1]. Відповідності з цієї методики проектні параметри захисту скла визначають для розрахункових умов, коли потрібна максимальна теплова потужність системи кондиціонування повітря (СКП).

Крім того, під час визначення вологовмісту в повітрі ГК не враховують втрату води у вологовіддільнику (ВВ) СКП, надходження вологи з рециркуляційним повітрям, електрообігрів скла.

Такі теплові системи не забезпечують захист скла у всьому діапазоні очікуваних умов експлуатації ПС. Так, за експлуатаційними даними в тропічних країнах з вологим кліматом під час зниження ПС, обладнаного системою повітряно-теплового захисту з параметрами, визначеними за цією методикою, відбувалися випадки практично миттєвого утворення рідинної плівки на внутрішніх поверхнях скла ліхтаря КЕ, що призводило до суттєвого ускладнення пілотування ПС. Це свідчить про недостатність захисту скла.

З'ясуємо умови і причини, за які пари води конденсуються на внутрішніх поверхнях заклення ГК ПС.

Формування умов вологості в герметичній кабіні повітряного судна

Вологовміст у ГК ПС визначимо відповідно до закону збереження маси речовини для стаціонарних умов (рис. 1).

Запишемо умови балансу масових витрат вологи:

– витрата вологи для змішувача:

$$g_{KE} + g_{KP} = g_p + g_{BB}, \quad (1)$$

де g_{KE} , g_{KP} – витрати вологи, що надходить з кондиціонованим повітрям у КЕ і пасажирську кабіну (ПК) відповідно; g_p , g_{BB} – витрати вологи, яка надходить у змішувач, із рециркуляційним і атмосферним повітрям відповідно;

– витрата вологи для КЕ:

$$g_{ze} = g_{KE} + g_e, \quad (2)$$

де g_{ze} – витрата вологи з повітрям, витічним із КЕ; g_e – витрата вологи, яка надходить від екіпажу.

– витрата вологи для ПК:

$$g_{zP} + g_p = g_{KP} + g_{п}, \quad (3)$$

де g_{zP} – витрата вологи з повітрям, залишаючим ПК; $g_{п}$ – витрата вологи, яка надходить від пасажирів;

– витрата вологи, яка міститься в повітрі:

$$g = dG, \quad (4)$$

де d – масовий вологовміст, визначуваний як масова кількість водяної пари на одиницю маси сухої частини вологого повітря; G – масова витрата повітря.

Атмосфера

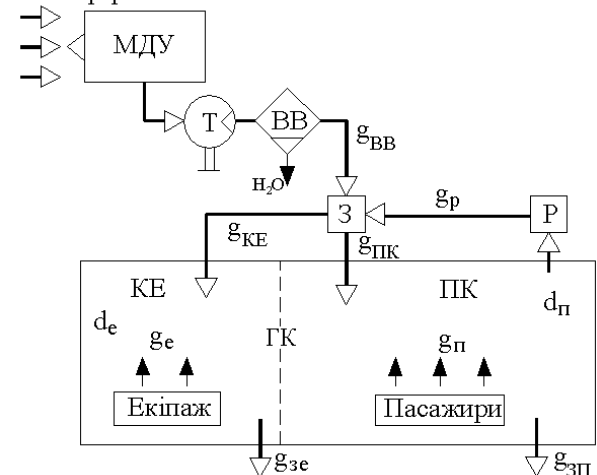


Рис. 1. Схема проходження вологи через СКП ПС: МДУ – маршова двигунова установка; Т – турбіна; З – змішувач; Р – рециркуляція

– витрата вологи, яка надходить від людей:

$$g = n g', \quad (5)$$

де n – кількість людей; g' – масова витрата вологи, яка надходить від однієї людини.

З урахуванням формул (4), (5) рівняння (1)–(3) набувають вигляду:

$$d_3(G_a + G_p) = d_{BB}G_a + d_{II}G_p; \quad (6)$$

$$d_e G_e = d_3 G_e + n_e g'_e; \quad (7)$$

$$d_{II} G_{II} = d_3 G_{II} + n_{II} g'_{II}, \quad (8)$$

де d_3 , d_{BB} , d_{II} , d_e – масовий вологовміст у змішувачі, за ВВ, у ПК і КЕ; G_a , G_p , G_e , G_{II} – витрата атмосферного, рециркуляційного, кондиційованого повітря в КЕ і ПК; $g'_{II} = 35$ г/год; $g'_e = 50$ г/год.

З рівнянь (6)–(8) після елементарних перетворень з урахуванням уведених скорочень можна знайти:

– залежність для визначення вологовмісту в змішувачі:

$$d_3 = \begin{cases} k_B d_a + \frac{(1+\varepsilon)}{G_a} r_p n_{II} g'_{II}, & d_3 \leq d_{s3} \\ d_{s3}, & d_3 > d_{s3} \end{cases}$$

де k_B – коефіцієнт проходження вологи через холодильну установку, визначуваний термодинамічним розрахунком холодильної установки СКП:

$$k_B = \frac{d_{BB}}{d_a};$$

d_a – вологовміст атмосферного повітря, визначуваний розрахунковими умовами атмосфери; ε – співвідношення витрат кондиційованого повітря в КЕ і ПК:

$$\varepsilon = \frac{G_e}{G_{II}};$$

r_p – ступінь рециркуляції повітря в СКП:

$$r_p = \frac{G_p}{(G_a + G_p)},$$

n_{II} – кількість пасажирів; g'_{II} – масова витрата вологи, яка надходить від одного пасажера; d_{s3} – вологовміст у змішувачі при насиченні, визначуваний параметрами вологого повітря в змішувачі:

– залежність для визначення вологовмісту у КЕ:

$$d_e = k_B d_a + \frac{1+\varepsilon}{G_a} \left(\frac{1}{\varepsilon} n_e g'_e + r_p n_{II} g'_{II} \right), \quad (9)$$

n_e – кількість членів екіпажу; g'_e – масова витрата вологи, яка надходить від одного члена екіпажу ($g'_e = 50$ г/год);

– залежність для визначення вологовмісту в ПК:

$$d_{II} = k_B d_a + \frac{1+\varepsilon}{G_a} n_{II} g'_{II}. \quad (10)$$

Вибір розрахункових умов для захисту засклення герметичної кабіни

Розрахункові умови будемо шукати серед таких температурно-вологісних умов атмосфери, за які потрібна максимальна теплова потужність для захисту засклення ГК.

Тиск повітря, який підтримується в ГК висотних ПС для забезпечення потрібних умов життєдіяльності людей, вище атмосферного, і його величину звичайно задамо у вигляді лінійної залежності:

$$p_{ГК} = a p_a + b, \quad (11)$$

де $p_{ГК}$, p_a – тиск повітря в ГК і атмосфері відповідно; a , b – постійні коефіцієнти, які є параметрами закону регулювання тиску повітря в ГК.

Відповідно до термодинамічних властивостей вологого повітря тиск насиченої водяної пари у вологому повітрі визначається тільки температурою повітря і не залежить від його тиску [2].

Масовий вологовміст d_s у повітрі при насиченні залежно від тиску водяної пари може бути визначений за формулою [2]:

$$d_s = 0,622 \frac{p_s}{p_a - p_s}. \quad (12)$$

де p_s – тиск водяної пари у разі насичення.

Оскільки більші значення тиску водяної пари при насиченні p_s відповідають більшим температурам вологого повітря, із залежності (12) випливає, що при насиченні однаковим масовим вологовмістам для більших значень атмосферного тиску p_a відповідають більші значення температури точки роси t_s .

Причиною конденсації пари води в ліхтарі ПС є взаємодія повітря з високим вологовмістом з охолодженою поверхністю засклення при підвищеному тиску в ГК. Максимально інтенсивна конденсація пари води можлива у вологому тропічному поясі на етапі зниження ПС з висоти крейсерського польота.

Із очікуваних умов експлуатації ПС можна визначити умови, в яких температура атмосфери залежно від висоти над рівнем моря максимальна при максимальній відносній вологості ϕ .

Звичайно ця залежність є лінійною, і має такий вигляд:

$$t_{a_{\max} \phi_{\max}} = t_{0_{\max} \phi_{\max}} - \alpha h, \quad (13)$$

де $t_{0_{\max \varphi_{\max}}}$ – температура атмосфери на рівні моря ($t_{0_{\max \varphi_{\max}}} = 35^\circ\text{C}$; при $\varphi = 100\%$); α – коефіцієнт змінення температури ($\alpha = 5,2^\circ\text{C}/\text{км}$); h – висота над рівнем моря.

Вологовміст атмосферного повітря при насиченні залежно від висоти розраховуємо за виразом:

$$d_{sa} = 0,622 \frac{p_{sa}}{p_a - p_{sa}}, \quad (14)$$

де p_{sa} – тиск насичення пари води в повітрі атмосфери, визначений залежно від висоти через температуру атмосфери:

$$p_{sa}(h) = p_{sa}(t_{a_{\max \varphi_{\max}}}(h)).$$

При позитивних температурах для визначення тиску насичення може бути використана формула [3]:

$$p_s(t) = 479 + (11,52 + 1,62t)^2. \quad (15)$$

Тиск повітря в нижніх шарах атмосфери розраховується за формулою [4]:

$$p_a = p_0 \left(1 - \frac{h}{44300}\right)^{5,256}. \quad (16)$$

де p_0 – тиск атмосфери на рівні моря.

Після підстановки у вираз (14) рівнянь (13), (15), (16) визначаємо залежність вологовмісту атмосферного повітря при насиченні від висоти $d_{sa}(h)$.

За законом регулювання тиску повітря в ГК (11), з урахуванням формули (16), знаходимо залежність тиску повітря в ГК від висоти $p_{ГК}(h)$.

Вологовміст повітря в зонах КЕ і ПК герметичної кабіни ПС обчислюємо за формулами (9), (10).

Залежність температури точки роси в КЕ і ПК від висоти $t_{se(п)}(h)$ визначаємо за тиском $p_{ГК}$ і вологовмісту $d_{e(п)}$ у КЕ і ПК (індекс е(п) відповідає умовам у КЕ чи ПК). Для цього можна використати формулу (15).

За вологовмістом $d_{e(п)}$ і тиском $p_{ГК}$ визначаємо тиск водяної пари в КЕ:

$$p_{e(п)} = \frac{p_{ГК} d_{e(п)}}{0,622 + d_{e(п)}}.$$

З формули (15) знаходимо залежність температури точки роси у КЕ і ПК від висоти

$$t_{se(п)} = \sqrt{0,38 p_{se(п)} - 182,4} - 7,1$$

чи

$$t_{se(п)} = 0,616 \sqrt{p_{se(п)} - 480} - 7,1$$

за умови:

$$p_{se(п)} > 530,5 \text{ Па.}$$

Температуру поверхні скла в КЕ і ПК $t_{ce(п)}$ визначаємо залежно від висоти польоту в результаті розрахунку теплового потоку через застосування для розглядуваних температурних умов атмосфери t_a , умов польоту ПС і заданої температури повітря в КЕ ($t_{e(п)} = \text{const}$).

За відомими залежностями $t_{se(п)}(h)$ і $t_{ce(п)}(h)$ визначаємо різницю температур

$$\Delta t = t_{se(п)} - t_{ce(п)}.$$

Якщо $\Delta t < 0$ в усьому діапазоні висот польоту ПС, тепловий захист скла не потребується.

У разі існування області висот, в якій $\Delta t \geq 0$, шукається Δt_{\max} і відповідні умови польоту ПС, розрахункові для проектування теплового захисту скла.

Розрахунок параметрів вологого повітря в кабіні екіпажу

Розрахунок параметрів вологого повітря проводили для типових даних СКП сучасного пасажирського літка:

– подача свіжого повітря на одного пасажирів:

$$G_a / n_{п} = 20 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{пас.});$$

– ступінь рециркуляції повітря в СКП: $r_p = 0,3$;

– співвідношення витрат кондиційованого повітря в КЕ і ПК: $\varepsilon = 0,25$; $g'_{п} = 35 \text{ г}/\text{год}$; $g'_e = 50 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{пас.});$

– коефіцієнт проходження вологи через холодильну установку: $k_b = 1$;

– максимальна температура тропічного поясу при $\varphi = 100\%$;

– висота польоту: $h = 2 - 5 \text{ км}$.

Визначені атмосферна волога і волога, яка виділяється пасажирів і екіпажем у КЕ, показано на рис. 2.

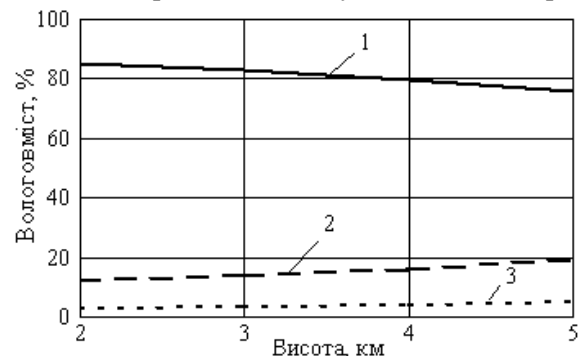


Рис. 2. Розрахунковий вологовміст у КЕ: 1 – атмосфера; 2 – екіпаж; 3 – пасажирів

Визначені температурно-вологісні умови в КЕ по висоті польоту показано на рис. 3 і в таблиці.

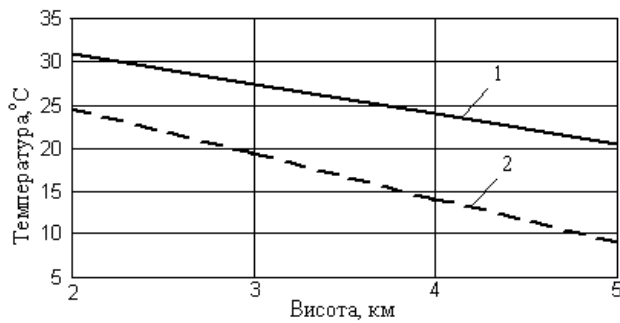


Рис. 3. Розрахункові температури точки роси у КЕ:

1 – t_{se} ; 2 – t_a

Розрахункові параметри повітря у вологих тропіках

h , км	t_a , °C	d_{sa} , г/кг	d_e , г/кг	p_{se} , Па	t_{se} , °C
2	24,6	23,8	28,0	4276	30,9
3	19,4	20	24,2	3622	27,4
4	14,2	16,4	20,6	3027	24,0
5	9	13,1	17,3	2498	20,6

Висновки

Запропонована методика дозволяє визначити розрахункові умови для вибору конструктивних параметрів теплового захисту застосування ГК ПС від конденсації пари води з урахуванням параметрів повітря атмосфери і ГК ПС.

Для пасажирського літака визначено, що вологовміст в повітрі КЕ переважно формує атмосферна волога.

Показано, що при максимальних температурі і вологості в тропічному поясі на висоті польоту 2–5 км можуть виникати умови для конденсації вологи на внутрішніх поверхнях КЕ.

Список літератури

- Егоров М.С., Гершкович А.М. Герметическая кабина самолетов и их оборудование // Тр. ЛИИ. – М.: Изд-во бюро новой техники НКАП, 1945. – № 9. – 129 с.
- Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергия, 1974. – 448 с.
- Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 367 с.
- Системы оборудования летательных аппаратов / Под ред. А.М. Матвиенко. – М.: Машиностроение, 1986. – 368 с.

Стаття надійшла до редакції 22.12.03.

А.И. Хлистуи

Условия защиты фонаря воздушного судна от конденсации влаги

Изложена методика определения расчетных условий для выбора конструктивных параметров тепловой защиты остекления герметической кабины воздушного судна от конденсации паров воды.

O.I. Khlystun

Conditions of aircraft cockpit protection against moisture condensation

Presented is the methodic of rated conditions determination for the design parameters choice of aircraft hermetic cabin glazing heat protection against water condensation.