

М.Д. Туз, Д. Кер'якос

## ШЛЯХИ УТВОРЕННЯ ВОДНО-ПАЛИВНИХ СУМІШЕЙ, ЇХНІ ВЛАСТИВОСТІ І НАКОПИЧЕННЯ ВІДСТІЙНОЇ ВОДИ У ПАЛИВНИХ БАКАХ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ

*Досліджені умови і механізм надходження й накопичення вільної води в баках-кесонах паливних систем сучасних повітряних кораблів. Кількісно визначений баланс вологи між станами і фазами в баці-кесоні на кожному з етапів експлуатації.*

Фізична суть процесу утворення та накопичення вільної води в паливних баках повітряних кораблів (ПК) відома і давно теоретично і повно досліджена. В його основі лежить обмежена оборотна гігроскопічність авіаційних палив. В той же час при розслідуванні причин льотних подій, пов'язаних з відмовою паливних систем ПК або безпосереднім припиненням паливоживлення двигунів, серед авіаційних спеціалістів та експертів виникають серйозні розбіжності в оцінці можливої наявності і впливу вільної води в баках-кесонах як дійсної причини події.

На основі узагальнення матеріалів та проведених авторами експериментальних й експлуатаційних досліджень кінетики вологи в паливних баках ПК можна зробити основний висновок. Процес утворення та накопичення вільної води в баках-кесонах ергодичний, тобто він повністю визначається послідовними ланками ланцюга подій експлуатації конкретного ПК. При теоретичному аналізі кількості вільної води в баці-кесоні необхідною головною умовою математичного моделювання процесу накопичення вільної вологи є накладення термобародинамічних умов стану палива і конструкції бака-кесона протягом всього періоду, який аналізується. З розгляду не може бути виключеним жоден фрагмент цього періоду.

Аналізу з позицій граничної розчинності води та загального вологовмісту підлягає триланкова система: паливо в баці-кесоні ПК – повітря надпаливного простору бака – повітря навколишнього середовища (позабортове повітря). Фізичне тіло - термобародинамічні умови бака-кесона.

З точки зору характеру й інтенсивності накопичення вільної води в баці-кесоні процес експлуатації ПК можна розглядати як окремі подальші стани з індивідуальними умовами:

- політ;
- нетривала стоянка з операціями заправлення (дозаправлення) паливних баків в період інтенсивної експлуатації;
- тривала стоянка (кілька діб і більше) при зберіганні ПК.

На рис. 1 зображені типові графіки рівноважної розчинності води в паливі, його температури та розподілення води між станами і фазами в баці-кесоні протягом одного польоту.

Графіки побудовані за даними льотних випробувань середньомагістрального пасажирського літака. При цьому, враховуючи суто технічні складності у визначенні обводнення палива безпосередньо на борту ПК, вологовміст палива (криві 6, 7) отримано розрахунковим методом. Через технічні причини неможливо в процесі льотних досліджень ПК отримати кількісну картину подальшого перерозподілу води, яка виділилася з палива у вільну фазу, а саме, відсоткове співвідношення води, що перейшла у надпаливний простір бака-кесона, осіла як іній на незалитих паливом панелях, вийшла через дренаж бака-кесона в навколишнє середовище, залишилася безпосередньо в паливі у вигляді мікрокрапель емульсійної води і випала у відстій на дно бака.



Для отримання значень кількісного перерозподілу вільної води між фазами в баці-кесоні ПК в польоті були проведені експериментальні дослідження з моделюванням умов польоту (рис. 1).

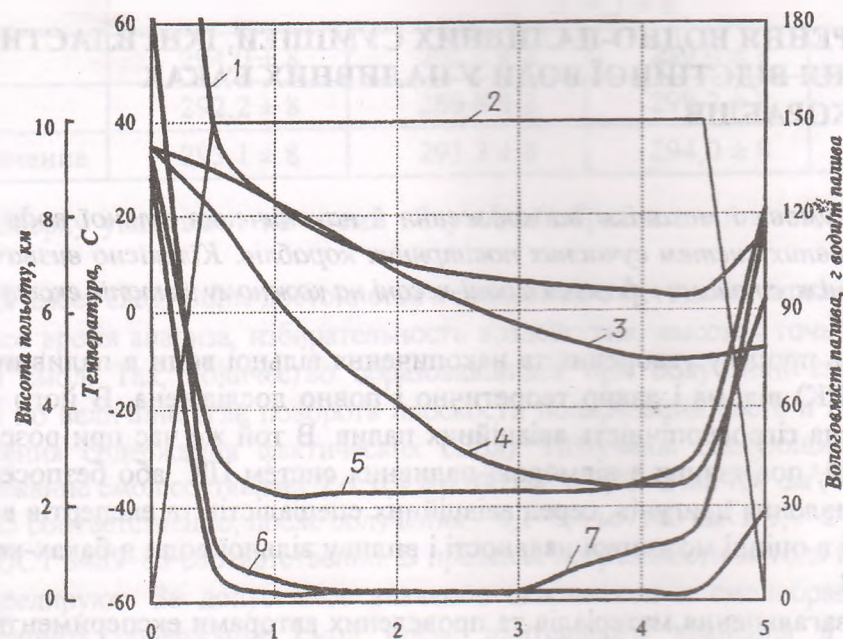


Рис. 1. Результати дослідження зміни температури палива і кінетики води в паливних баках ПК в польоті (за даними льотних випробувань):

1 – граничний вологовміст палива в витратному баці; 2 – висота польоту; 3 – температура палива у витратному баці; 4 – температура палива в баці-кесоні від'ємної частини крила; 5 – температура загальмованого потоку атмосферного повітря; 6 – граничний вологовміст палива в баці-кесоні від'ємної частини крила; 7 – температура повітря на висоті польоту

Дослідження проводилися у термобароклаві на двох моделях баків-кесонів об'ємом  $2\text{ м}^3$  кожний з використанням реальних агрегатів паливної системи за повнофакторним планом моделювання змін зовнішніх термобаричних умов, подачі палива з баків, діаметра та довжини трубопроводів дренажу, вібронавантажень конструкцій баків.

Рівноважна розчинність води в баках в поточний момент польоту, який моделюється, кількість води, що перейшла в надпаливний простір і залишилася в паливі в емульсійному стані, та температура палива показані на рис. 2.

З отриманих даних видно, що основне зниження вмісту води в паливі відбувається на етапі моделювання набору висоти – до 88,6 % при загальному вмісті води в паливі 0,018 % мас та близько 57,8 % при початковому загальному вологовмісті палива 0,007 % мас і менше. Далі інтенсивність збезводнювання знижується практично припиняється до кінця четвертої години польоту.

Принципово, що реальна інтенсивність збезводнювання палива в процесі польоту залежить від початкового вологовмісту палива. З цього випливає: при сумісному розгляді реальної інтенсивності збезводнювання палива в баці і теоретичної залежності інтенсивності збезводнювання, розрахованої на основі емпіричного закону максимальної розчинності води в паливі при даних умовах, можливе отримання закону про кількість вільної води в паливі в поточному часі польоту при відомому вологовмісті заправленого палива. За законом зміни



температури палива в польоті це дозволяє прогнозувати тривалість польоту до початку умов можливих відмов:

- обледеніння сіток перекачувальних насосів та паливних фільтрів, які не мають теплового захисту;
- обмерзання забірників системи відсмоктування залишків палива та відстійної води;
- відмова клапанів переливу й інших агрегатів, що мають схильність до обледеніння (необхідні також дані про критичні умови роботи цих агрегатів).

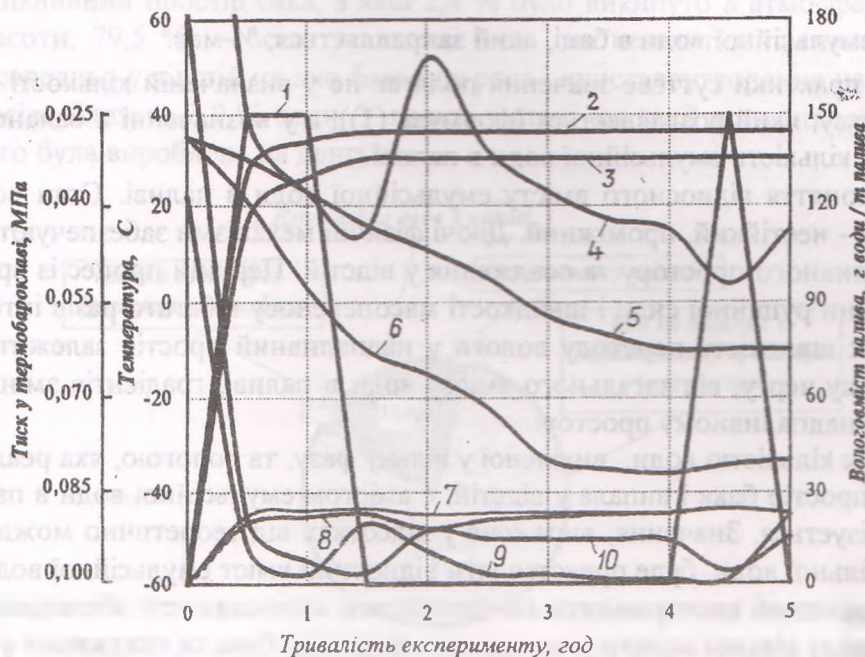


Рис. 2. Кінетика вологи в баках-кесонах натурної експериментальної установи паливної системи ПК при моделюванні типового польоту: 1 – тиск в корисному об'ємі термобароклава; 2 – граничний вологовміст палива у баці 2 експериментальної установи; 3 – інієтування на панелях в надпаливному просторі витратного бака; 4 – граничний вологовмір палива у витратному баці експериментальної установи; 5 – температура палива у витратному баці експериментальної установи; 6 – температура палива в баці 2 експериментальної установи; 7 – вміст емульсійної води в паливі бака 2; 8 – вміст емульсійної води в паливі витратного бака; 9 – температура повітря в термобароклаві; 10 – інієтування на панелях в надпаливному просторі бака 2

Не наводячи математичного доказу, абсолютну кількість води, яка перейшла в паливо з розчинного стану у вільну фазу в інтервалі часу  $\tau_{i-1}, \tau_i$ , знаходимо за формулою:

$$m_{B_i} = 0,01 \frac{(2m_{T_0} - q_T \tau_i)}{2} \left[ 0,01 \psi_{i-1} \frac{B_0 \cdot e^{-K_i h_{i-1}} + \Delta P}{B_0} \left( \frac{T_{T_{i-1}}}{T_0} \right) - 0,01 \psi_i \frac{B_0 \cdot e^{-K_i h_i}}{B_0} \left( \frac{T_{T_i}}{T_0} \right) \right]^n,$$

де  $m_{T_0}$  – маса води у паливі в баці на початку розглядуваного інтервалу польоту з видатком палива з бака  $q_T$ , кг;  $\psi_{i-1}, \psi_i$  – відносна вологість надпаливного простору бака в розглядувані моменти часу, %;  $h_{i-1}, h_i$  – висота польоту, м;  $T_{T_{i-1}}, T_{T_i}$  – температура палива в баці на початку та в кінці інтервалу, К;  $T_0 = 293$  К;  $B_0$  – атмосферний тиск на рівні моря, МПа;



$K_1 = 1,25 \cdot 10^{-4} 1/\text{м}$  – коефіцієнт пропорційності;  $n$  – показник ступеня, який визначає сорт палива;  $\Delta P$  – надлишковий тиск в баці-кесоні, МПа.

Загальне теоретично можливе накопичення вільної води, яка міститься у паливному баці, до моменту польоту  $\tau$ , складає:

$$m_B = \sum_{i=1}^N m_{B_i} + 0,01 C_{em} \cdot m_{T_0}, \quad (1)$$

де  $C_{em}$  – вміст емульсійної води в баці, який заправляється, % мас.

З позицій практики суттєве значення полягає не у визначеній кількості вільної води в баці в момент часу, який розглядається (формула (1)), а у визначенні її балансу між фазами. Насамперед - це кількість емульсійної води в паливі.

Уведемо поняття відносного вмісту емульсійної води в паливі. Стан води в паливі в емульсійній фазі - нестійкий, проміжний. Діючі фізичні механізми забезпечують перехід води у повітря надпаливного простору та осадження у відстій. Перший процес із врахуванням напрямку та величини рушійної сили і швидкості масопереносу в багато разів інтенсивніший. У реальних умовах швидкість переходу вологи у надпаливний простір залежить від багатьох чинників, в першу чергу, від загального вмісту води в паливі, градієнтів зміни температури палива і тиску в надпаливному просторі.

Різниця між кількістю води, виділеної у вільну фазу, та вологою, яка реально перейшла у надпаливний простір бака і випала у відстій, є вмістом емульсійної води в паливі в момент часу, який аналізується. Значення, виражене у відсотках від теоретично можливого в даних умовах вмісту вільної води, буде представляти відносний вміст емульсійної води в паливі.

На рис 3 показані експериментальні результати інтенсивності збезводнювання палива внаслідок переходу вільної вологи у надпаливний простір бака та осадження у відстій для різного початкового вологовмісту заправленого палива і значення параметра  $\phi$ .

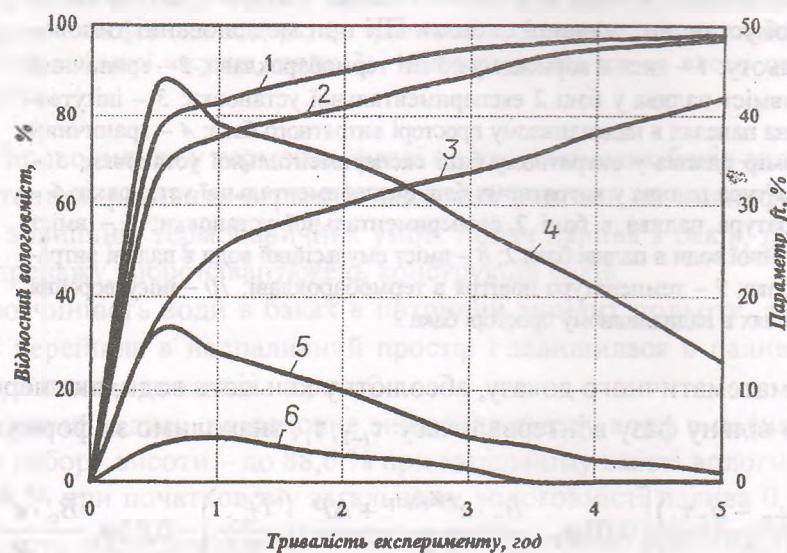


Рис. 3. Інтенсивність збезводнювання палива у баках-кесонах ПК при моделюванні типового польоту: 1, 2, 3 – відносний вологовміст палива в процесі експерименту відповідно для початкового загального вмісту води: більше 0,010 % мас., (0,07–0,010) % мас., менше 0,007 % мас.; 4, 5, 6 – параметр  $f$  для палив з початковим загальним вологовмістом відповідно: більше 0,010 % мас., (0,007–0,010) % мас., менше 0,007 % мас.

Видно, що для палив з великим на момент заправки загальним вологовмістом інтенсивність збезводнювання під впливом умов експлуатації вища.



Гістограма (рис. 4) показує баланс води між фазами в паливному баці-кесоні ПК при початковому загальному вологовмісті заправленого палива  $130 \cdot 10^{-4} \%$  мас. Умови польоту:

- тривалість – 5 год на висоті 10000 м;
- швидкість польоту – 850 км/год;
- параметри навколишнього середовища – міжнародна стандартна атмосфера на висоті 10000 м.

З рис. 4 видно, що 82,3 % води, яка виділилася з палива у вільну фазу, перейшло за час польоту у надпаливний простір бака, з якої 2,8 % було викинуто в атмосферу через дренаж при наборі висоти; 79,5 % – осіло у вигляді інею на незалитих паливом панелях бака-кесона. Безпосередньо у відстій на дно бака і як роса і кристалоутворення на покритих паливом панелях осіло близько 3,9 % води. У паливі у стані емульсії залишилося 13,8 % води, яка здебільшого була вироблена на двигуни.

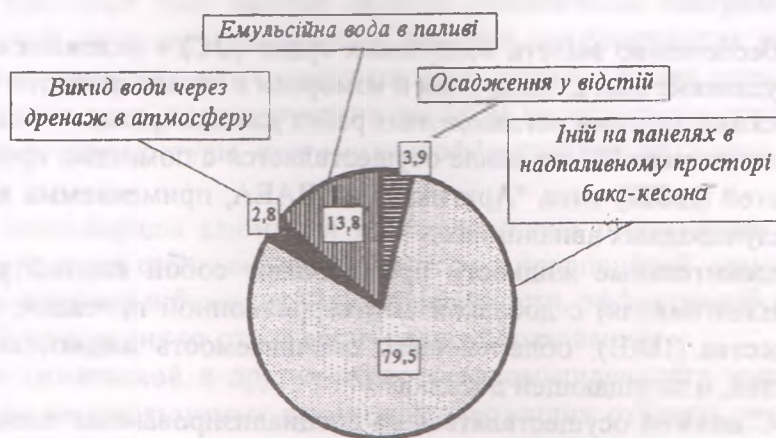


Рис. 4. Баланс вільної води між фазами в баці-кесоні ПК

При посадці ПК в умовах позитивних температур на рівні моря відбувається нагрів конструкції баків-кесонів і палива в них. За час підготовки ПК до подальшого польоту, та час заправки паливом, яке має в даних умовах позитивну температуру, відбувається танення інею на панелях бака-кесона. Краплі води відриваються від верхньої панелі бака і накопичуються на дні у відстої, частково емульгуючи при цьому паливо. Середньостатистичний за результатами проведених експериментів кількісний розподіл води під час цього процесу складає: 67 % (переходить у відстійну); 22 % – залишається на зволжених панелях близько 11 % – іде на збільшення частки емульсійної води в паливі. Оскільки кількість води, накопиченої у виді інею на панелях, складає 79,5 % від виділеної у вільну фазу, значення в загальному балансі подальшого перерозподілу води відповідно дорівнюють 53,3 %, 17,5 % та 8,7 %.

Описаний механізм надходження й перерозподілу води в баках-кесонах ПК при експлуатації є основним, а за умов повного виконання вимог льотної експлуатації та технічного обслуговування – єдиним шляхом накопичення вільної води в баках. Але, оскільки паливні системи сучасних ПК обладнані високоефективними пристроями централізованого зливу до виробки та відсмоктування відстою палива з віддалених та застійних зон гідродинамічним і тепловим захистом фільтроелементів і сіток перекачувальних паливних насосів, то відстійна вода протягом подальшого польоту практично повністю видаляється.

Можна стверджувати, що в процесі інтенсивної експлуатації сучасних ПК відбувається стабілізація максимального вмісту вільної води в баках-кесонах, який не перевищує установлені норми наявності емульсійної води в кількості 0,003 % мас палива, і виключаються умови накопичення відстійної води.

Стаття надійшла до редакції 30 грудня 1999 року.