

УДК 621.43.015.2:611.2(075.8)

П.Ф. Максютинський, О.І. Козаченко, М.Д. Туз

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ ВІД НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ПОРУШЕНЬ ЇЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

Розглянуто такі методи захисту паливної системи повітряних кораблів від низькотемпературних порушень працездатності, як стабілізація температури палива в баках на заданому рівні та гідрозмиву низькотемпературних накопичень із запобіжної сітки паливної помпи. Розрахунками та експериментальними дослідженнями визначені параметри системи стабілізації температури палива утилізацією тепла на теплообміннику системи кондиціонування повітря та ефективність гідрозмиву низькотемпературних накопичень; запропоновано конструкцію перфоколектора та ефективні режими гідрозмиву.

Порушення працездатності паливної системи повітряних кораблів (ПК) при низьких температурах обумовлені насамперед великою імовірністю наявності води в паливних баках в процесі експлуатації. Крім того, при глибокому охолодженні палива значно підвищується його в'язкість, внаслідок чого може порушуватись подача палива в двигун. В зв'язку з цим виникла потреба в обмеженні температури охолодження палива в баках ПК в польоті, тобто обмеження тривалості польотів.

Шкідливі прояви води в паливній системі ПК при охолодженні палива різноманітні, а саме: накопичення води у відстої паливних баків, обумовлене безперервними тепло- і масообмінними процесами в умовах великих перепадів температури та тиску; гідромеханічне та теплофізичне емульгування води в паливі; утворення інею та шуги в паливних баках; обмерзання запобіжних сіток паливних насосів; обледеніння паливних фільтрів; обмерзання дренажу паливних баків; порушення працездатності системи довиробки та централізованого зливу відстою, а також системи керування та вимірювання кількості палива.

Існуючі та перспективні методи захисту паливної системи літаків від низькотемпературних порушень її працездатності можна умовно розподілити згідно з принципом дії та способом реалізації на експлуатаційні, теплофізичні, масообмінні та гідромеханічні.

До експлуатаційних методів підвищення надійності паливної системи ПК відносяться наземна очистка палива від забруднень та води за допомогою фільтрів-сепараторів; застосування противодокристалізаційних (ПВК) присадок (етилцелозольву та тетрагідрофурфурилового спирту); обмеження тривалості польотів на паливах без присадок або на паливах з підвищеною температурою кристалізації; контроль температури палива в баках літаків у польоті; регламент на техобслуговування з метою зливу відстою з паливних баків. Наземна очистка палива від води лише зменшує імовірність, але не виключає можливості накопичення води в баках ПК і виникнення таких небезпечних явищ, як обмерзання запобіжних сіток електровідцентрових pomp (ЕВП), блокування струмінних pomp (СП) шугою, обледеніння паливних фільтрів (ПФ).

Застосування ПВК присадок має ряд недоліків, через що в світовій авіаційній практиці відмовляються від цього методу. Перш за все – це значні додаткові затрати. Додаток палива ПВК рідин погіршує його протиспрацьовувальні властивості, в зв'язку з чим необхідно додатково вводити в паливо поверхнево-активну присадку типу ПМММ. Це в свою чергу викликає суттєве підвищення стійкості водно-паливної емульсії. Так, при наявності в паливі 0,025 % присадки типу ПМММ концентрація емульсійної води після відстоювання палива протягом 6 год в 1,7 раза перевищує вміст емульсії в паливі без такої присадки при ідентичних умовах емульгування та відстоювання.

Злив відстою з паливних баків являється обов'язковою операцією регламенту техобслуговування ПК і не тільки як метод видалення відстійної води, а перш за все як засіб контролю чистоти та обводненості заправленого палива. Однак він не виключає можливості накопичення в баках такої кількості води, якої досить для блокування паливних pomp за відповідних умов.

До теплофізичних методів захисту паливної системи ПК від низькотемпературних порушень її працездатності відносяться:

захист ПФ від обледеніння встановленням в магістралі живлення паливом двигуна перед ПФ паливно-масляного радіатора або паливоповітряного теплообмінника, які забезпечують підігрів палива до плюсових температур;

підігрів палива у відатковому баці із застосуванням тепла робочої рідини гідросистеми через теплообмінник лінії постійної подачі гідросистеми;

стабілізація температури палива у відаткових відсіках та в баках останньої черги виробки на заданому рівні із застосуванням невикористаного тепла вузла охолодження повітря системи кондиціонування повітря (СКП) ПК.

Стабілізація температури палива в баках літака на заданому рівні є перспективним методом запобігання низькотемпературним порушенням працездатності паливної системи на паливах з підвищеною температурою кристалізації. Цей метод передбачає підведення до паливних баків деякої кількості тепла, тим більшої, чим вищий перепад між заданою температурою палива і температурою налігаючого потоку. Тому доцільно задаватися таким рівнем стабілізації температури, перевищення якого температурою кристалізації палива було б мінімально допустимим.

Виходячи з принципів енергозберігаючої концепції, доцільно утилізувати тепло, яке відводиться в оточуюче середовище такими теплоємними системами ПК, як СКП або повітроохолоджувальна система (ПОС), а саме: вузлами охолодження повітря: повітряно-паливного радіатора (ППР) та турбоохолодильної установки (ТХУ).

Схема паливної системи, при застосуванні якої реалізується запропонований підхід, показана на рис. 1. Налігаючий потік, який відводить від вузла охолодження СКП 2 велику кількість тепла, спрямовується вентилятором 10 через заслінку 11 в перфоколектор 6, розміщений у відатковому паливному баці (ВБ), де відбувається барботування палива підігрітим повітрям. Теплопередача з відаткового бака в бак останньої черги виробки П/1 забезпечується безперервним прокачуванням підігрітого палива струминною помпою 3 через колектор 1, розміщений в кінці бака П/1, і одночасним перекачуванням палива у відатковий бак перекачувальною помпою 2 через крани заправки 4 і 5. При цьому підігріте паливо з відаткового бака перекачується струминною помпою 8 в помповий відсік, звідки подається підкачувальними помпами 7 в двигун.

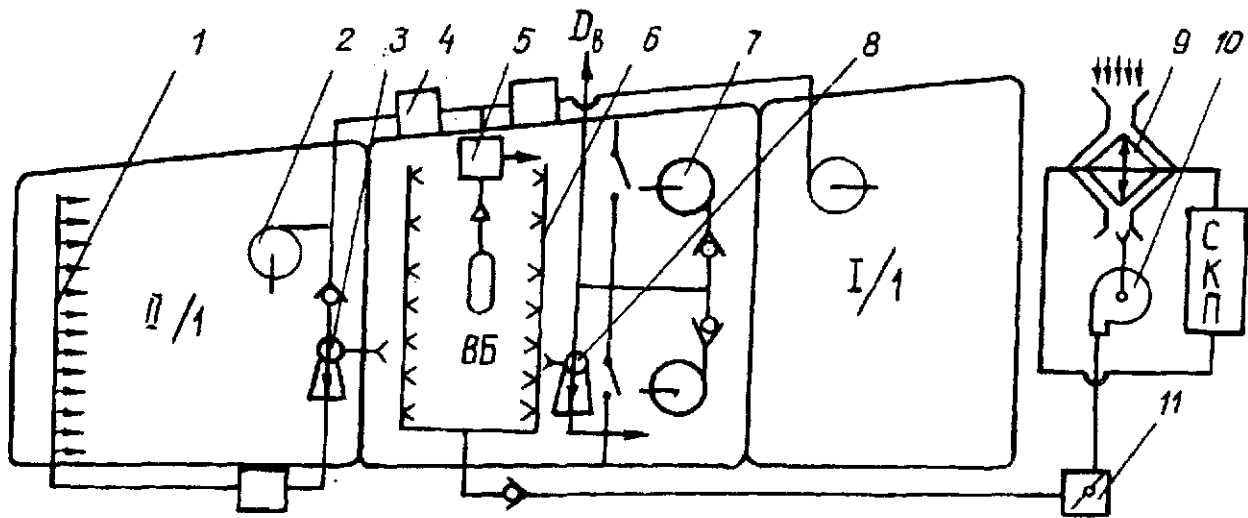


Рис. 1. Схема системи стабілізації температури палива в баках літака в польоті

Тепловий розрахунок балансу підведеного та відведеного від палива тепла стосовно літака типу Ту-154М в очікуваних умовах експлуатації, результати якого наведені в таблиці, підтверджує можливість реалізації такого методу за умови оснащення паливної системи літака відповідним обладнанням.

Параметри системи стабілізації температури палива

Рівні стабілізації температури палива, °С	Температура повітря на виході з ППР, °С	Висота польоту, м	Швидкість польоту, км/год	Тривалість польоту, год	Питома площа фронту ППР, см ² /т палива
-30	10	2000	400	5	36
		7000	600	5	41
		11000	850	5	47
	30	2000	400	5	21
		7000	600	5	24
		11000	850	5	27
	50	2000	400	5	15
		7000	600	5	17
		11000	850	5	19

На сучасних ПК середньої та великої дальності польоту питома площа ППР СКП знаходиться в межах 40...64 см²/т палива відносно максимальної заправки, або в межах 88...106 см²/т відносно кількості палива у видаткових баках та баках II черги виробки. Температурні характеристики ППР забезпечують температуру продувального повітря на виході з ППР не нижче 10 °С.

З гідромеханічних методів захисту елементів паливної системи ПК від низькотемпературних порушень її працездатності перспективним є гідрозмив низькотемпературних накопичень із запобіжних сіток паливних ЕВП. Зміст цього методу полягає, як показано на рис. 2, в розміщенні навколо вхідної сітки ЕВП кільцевого колектора / з направленою в бік сітки перфорацією, з'єданого трубопроводом з напірною магістраллю

помпи 3 через дросельний кран 4. При роботі помпи в кільцевому колекторі виникає надлишковий тиск, внаслідок чого з перфораторів витікають в напрямку сітки струмені

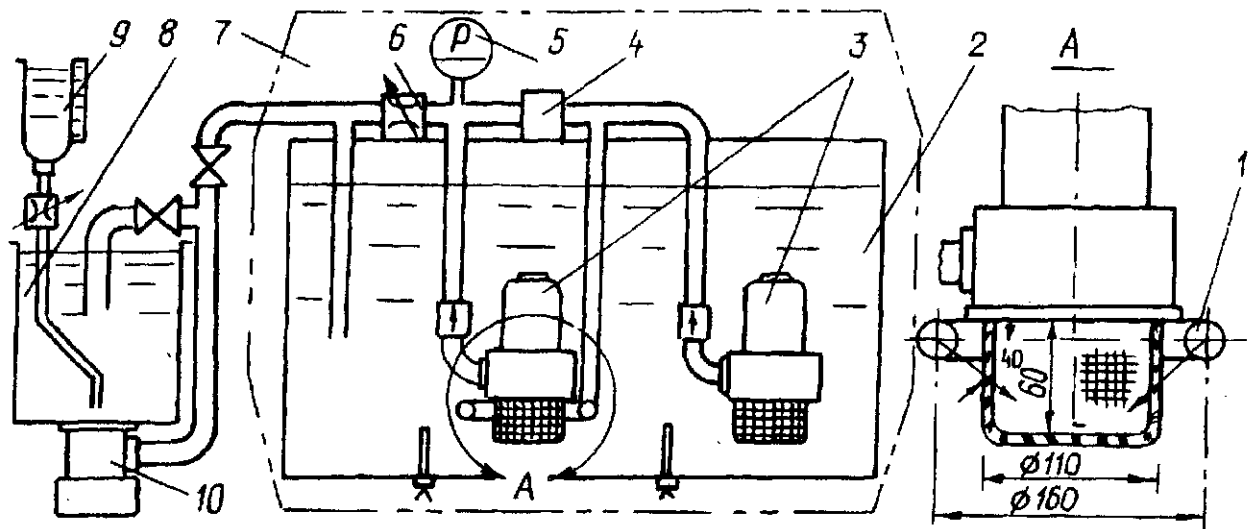


Рис. 2. Експериментальна установка для дослідження ефективності гідроструменевого захисту паливних насосів від обледеніння

палива з досить значною кінетичною енергією, які змивають з поверхні сітки забруднення та низькотемпературні накопичення.

Параметри перфоколектора та режим гідрозмиву визначаються співвідношенням

$$Q_{\text{пк}} = \mu n_{\text{отв}} \frac{\pi d_{\text{отв}}^2}{4} \sqrt{2 \left(\frac{P_{\text{к}}}{\rho_{\text{п}}} \right) - gH_{\text{ст}}},$$

де $Q_{\text{пк}}$ – подача палива через колектор; $\mu \approx 0,65$ – коефіцієнт витікання через отвори; $n_{\text{отв}}$, $d_{\text{отв}}$ – кількість та діаметр отворів; $P_{\text{к}}$ – тиск в перфоколекторі при роботі; $\rho_{\text{п}}$, $H_{\text{ст}}$ – густина та висота стовпа палива над колектором.

Для експериментального дослідження ефективності гідрозмиву вибрані такі параметри:

Кількість отворів в перфоколекторі, шт	8
Діаметр отворів, мм	2
Диск в перфоколекторі, Па	$0,6 \dots 0,9 \cdot 10^5$
Швидкість витікання струменів, м/с	75...93
Подача палива через колектор, л/год	675... 837

Експериментальне дослідження ефективності такого пристрою проводилось на експериментальній установці (рис. 2) в термобарокамері (ТБК) 7, де було розміщено бак-кесон 2, в якому встановлено дві помпи (ЕЦНГр-5), одна з яких оснащена перфоколектором 1. Для вимірювання та регулювання тиску передбачено манометр 5 та дросельний кран 6, для обводнення палива – гідромеханічний емульгатор, який складається з бака 8, відцентрової помпи 10 та дозатора води 9.

Була застосована така методика експерименту:

одночасно охолоджували 300 л палива в баці 2 в ТБК і готували 180 л водно-паливної емульсії в баці 8 емульгатора диспергуванням води на крильчатці помпи 10 з доведенням концентрації емульсії до 0,5 % при температурі 15 °С;

після охолодження палива в баці 2 до температури $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ в цей бак закачували підготовлену емульсію і вмикали препаративну помпу 3 на режим кільцевого прокачування палива через дросельний кран 6; при цьому через перфоколектор паливо не прокачувалося і створювались надзвичайно сприятливі умови для обмерзання запобіжної сітки ЕВП;

контрольним параметром, який характеризує стан вхідної сітки, служив тиск на виході з ЕВП;

в міру, як вхідна сітка закупорювалася кристалами, спостерігалось поступове падіння тиску за помпою і зменшення її подачі; при цьому вміст водної фази в паливі зменшувався;

після падіння тиску на виході препаративної помпи до $0,14 \cdot 10^5\text{ Па}$ включалась в роботу допоміжна помпа 3 і починався гідрозмив, який продовжувався до відновлення початкового тиску за препаративною помпою.

Результати експериментальної перевірки ефективності гідрозмиву запобіжної сітки ЕЦН при її обмерзанні наведені на рис. 3.

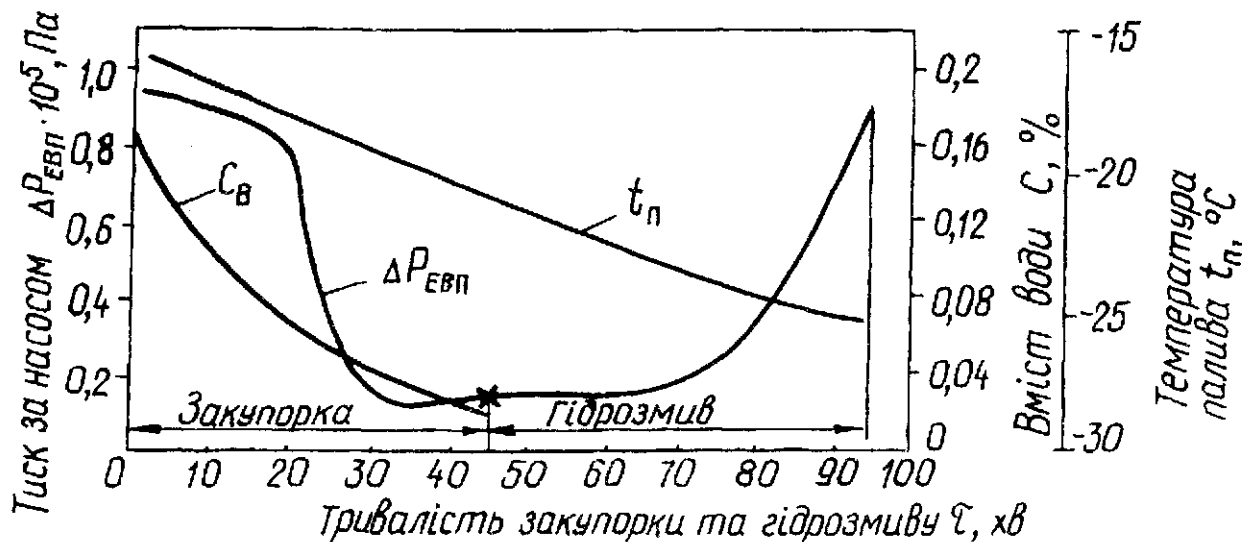


Рис. 3 Ефективність застосування гідрозмиву обмерзання ЕЦН

На експериментальній установці в процесі закупорки вхідної сітки помпа ЕЦНГР-5 працювала з подачею 5000 л/год, що відповідає реальному режиму роботи цієї помпи у видаткових баках літака Ан-70 у випадку перехресного живлення паливом двигунів з видаткового бака при відмові однієї з двох помп. Як видно з наведеної на рис. 3 залежності $P_{EVP}(\tau)$, інтенсивна закупорка сітки спостерігалась після 20 хв від початку роботи помпи протягом 10 хв. При гідрозмиві відновлення тиску, тобто очищення сітки, починалось також через 20 хв від початку режиму гідрозмиву і тривало приблизно 30 хв.

Застосування самоочищення паливних ЕВП гідрозмивом забруднень та низькотемпературних накопичень із запобіжної сітки може бути простим і надійним засобом підвищення експлуатаційної надійності паливної системи ПК.