

УДК 621.452.3.042.02

doi: 10.32620/aktt.2023.5.03

Т. П. МИХАЙЛЕНКО, О. В. ГОРІДЬКО, І. І. ПЕТУХОВ

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна*

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МАСЛОРАДІАТОРІ АВІАЦІЙНОГО ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Розвиток сучасних газотурбінних двигунів (ГТД) пов'язаний зі збільшенням ступеня підвищення тиску та температури газу на вході в турбіну при одночасному зменшенні габаритів та маси двигуна. Надійна робота ГТД багато в чому залежить від досконалості масляної системи. У циркуляційних системах для забезпечення змащення та охолодження вузлів тертя двигуна виникає необхідність у високій кратності циркуляції оливи. Підготовка оливи до чергового циклу змащення зводиться до його охолодження, очищення від механічних домішок, що утворилися під час роботи, та відділення повітря. Для охолодження оливи у ГТД застосовуються маслорадіатори. У якості охолоджуючого середовища використовуються повітря або паливо. Незалежно від вибору охолоджуючого середовища наявність двофазної суміші (олива-повітря), а не однофазної оливи, як вважається при проектуванні маслорадіаторів, може впливати на перебіг теплогідролічних процесів. Тому **предметом** вивчення в статті є теплогідролічні процеси у двофазних середовищах. **Метою** роботи є визначення особливостей перебігу теплогідролічних процесів при охолодженні оливи-повітряної суміші в авіаційному газотурбінному двигуні для подальшого удосконалення підходів до проектування маслорадіаторів. **Завдання** цієї статті полягає в тому, щоб показати відмінності перебігу теплогідролічних процесів у двофазних середовищах від однофазних та зацентувати на важливості їх врахування при проектуванні маслорадіаторів. Основні **результати** наступні. Для двофазного потоку зміна температури та тиску змінюють не тільки теплофізичні властивості фаз, але також газовміст, щільність та швидкість суміші, що впливає на перебіг теплогідролічних процесів в маслорадіаторі. За певних поєднань параметрів може змінюватися структура двофазного потоку. Низьке значення рівноважної швидкості звуку може приводити до нерозрахункової роботи маслорадіатора та маслосистеми в цілому. Крім цього наявність оливи-повітряної суміші знижує теплопередавальну здатність маслорадіатора у порівнянні з результатами розрахунків за стандартними методиками. Як **висновок**, можна стверджувати, що для підвищення ефективності маслосистеми надто важливо встановити та врахувати при проектуванні маслорадіаторів закономірності перебігу теплогідролічних процесів з урахуванням особливостей двофазної течії оливи-повітряної суміші.

**Ключові слова:** маслорадіатор; газотурбінний двигун; двофазний потік; теплогідролічні процеси.

### Вступ

Нові конструкції авіаційних газотурбінних двигунів стають дедалі складнішими, що перш за все, пов'язане з більш жорсткими вимогами до них з боку паливної ефективності та екологічної безпеки [1]. Це приводить до збільшення ступеню підвищення тиску, температури газу на вході в турбіну, частоти обертання роторів та інших параметрів, а водночас зменшенню габаритів та маси двигуна. Як наслідок збільшується теплове навантаження на елементи конструкції двигуна.

Надійна робота ГТД багато в чому залежить від досконалості масляної системи [2]. У циркуляційних системах для забезпечення змащення та охолодження вузлів тертя двигуна виникає необхідність у високій кратності циркуляції оливи [3]. Підготовка оливи до чергового циклу змащення зводиться до її охолодження, очищення від механічних домішок, що

утворилися під час роботи, та відділення повітря [4, 5].

Для створення економічних двигунів необхідно прагнути звести до мінімуму витрати потужності на прокачування оливи до вузлів тертя. При цьому слід враховувати, що при перевищенні максимально допустимої температури може відбуватися втрата змащувальної здатності оливи через випаровування легких фракцій і коксування [6]. У зв'язку з цим особливо гостро стоїть завдання забезпечення належної температури оливи при експлуатації двигуна.

Як правило, для охолодження оливи у ГТД застосовуються теплообмінні апарати рекуперативного типу. У якості охолоджуючого середовища використовується повітря або паливо з паливної системи двигуна. Це повітрямасляні та паливномасляні теплообмінні апарати (маслорадіатори) [4, 5].

Незалежно від вибору охолоджуючого середовища наявність двофазної суміші (олива-повітря), а

не однофазної оливи, що виникає через особливості робочого процесу у масляних порожнинах опор роторів [7], впливає на перебіг теплогідравлічних процесів в маслорадіаторі.

### Постановка задачі дослідження

Наразі при проектуванні маслорадіаторів авіаційних ГТД використовуються підходи, що представлені у [4, 5]. Вони базуються на класичних співвідношеннях теорії розрахунку теплообмінних апаратів з однофазними теплоносіями [8], про що свідчать наявні публікації з розробки новітніх конструкцій маслорадіаторів [9] та програмних комплексів для проектування елементів маслосистеми [10]. Незважаючи на те, що у маслорадіаторі охолоджується оливо-повітряна суміш, зазначені вище підходи до проектування не враховують особливості перебігу теплогідравлічних процесів, характерних для двофазних потоків, що знижує якість проектування. Саме тому метою роботи є визначення особливостей перебігу теплогідравлічних процесів при охолодженні оливо-повітряної суміші в авіаційному газотурбінному двигуні для подальшого удосконалення підходів до проектування маслорадіаторів.

### Сучасний стан теплообмінних апаратів для охолодження оливи у ГТД

Масляна система ГТД забезпечує підведення оливи до вузлів тертя двигуна для їх змащення та охолодження. При цьому гранично допустима температура оливи, що застосовується, обмежена її термо-

окислювальною стабільністю. Тому для забезпечення нормальних експлуатаційних умов необхідно постійно відводити тепло від оливи у спеціальних теплообмінних апаратах – маслорадіаторах. Вибір способу охолодження оливи залежить від рівня теплових потоків, що підводяться, та холодоресурсу холодоагенту, що використовується для його охолодження. Для охолодження оливи можуть використовуватися як паливо, так і повітря. Тому маслорадіатори поділяються на паливомасляні та повітримасляні теплообмінники. Додатково паливомасляні теплообмінники виконують допоміжну роль підігрівача палива на виході у двигун для запобігання утворенню льоду.

У масляних системах сучасних авіаційних двигунів при використанні палива як холодоагенту застосовують високоефективні теплообмінники трубчастого типу [11]. На рис. 1 наведена конструкція паливомасляного радіатора 5660Т двигуна Д-136 [12]. Паливомасляний радіатор складається з паливомасляного теплообмінника 1, термостатичного клапана 2, що перепускає масло повз теплообмінник при температурі палива вище  $75^{\circ}\text{C}$ , паливного фільтра тонкого очищення 3, встановленого на виході палива з теплообмінника. Теплообмінний елемент складається з двох стільникових пакетів, набраних з плоских алюмінієвих трубок. Для збільшення поверхні охолодження та надання трубкам більшої жорсткості всередині трубок та між ними вміщені гофровані пластини. На агрегаті 5660Т встановлені зворотний клапан 4, що запобігає витоків оливи з агрегату в двигун при стоянці; перепускний клапан 5, що перепускає паливо без фільтрації при засміченні паливного фільтра та сигналізатор перепаду тиску на паливному фільтрі 6, що дає сигнал у кабінку екіпажу при засміченні паливного фільтра.

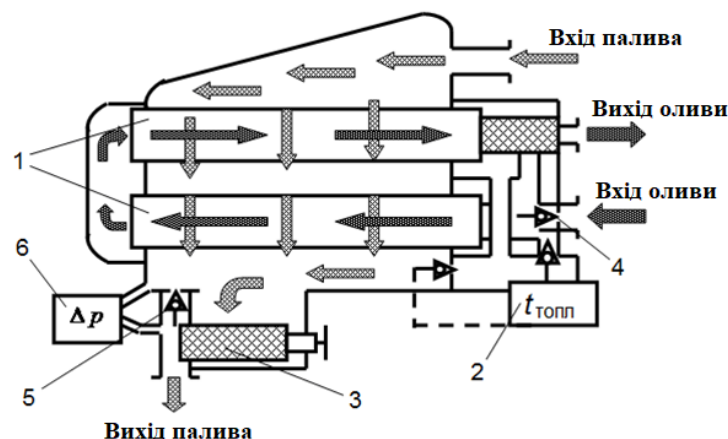


Рис. 1. Схема паливомасляного радіатора [12]:

- 1 – паливомасляний теплообмінник; 2 – термостатичний клапан; 3 – паливний фільтр тонкого очищення; 4 – зворотний клапан; 5 – перепускний клапан; 6 – сигналізатор перепаду тиску на паливному фільтрі

З метою підвищення економічності та зменшення маси розвиток сучасних авіаційних двигунів йде шляхом безперервного підвищення теплонапруженості ГТД [11]. Через збільшення теплового потоку в оливу та зниження питомої витрати палива підігрів палива в паливоясляному радіаторі стає дедалі більшим. Але через обмеження щодо термостабільності температура палива не повинна перевищувати 120 °С, що ускладнює можливість ефективного охолодження оливи тільки за рахунок наявного холодоресурсу палива. Тому виникає необхідність в застосуванні повітрямасляних теплообмінників. Насамперед це стосується турбогвинтових та турбовальних двигунів, у яких через високий рівень тепловиділення в редукторі тепловіддача в оливу вища, ніж у двоконтурних турбореактивних двигунів.

Повітрямасляні теплообмінники встановлюють у спеціальних каналах з регульованою витратою повітря. Як приклад на рис. 2 представлений повітрямасляний теплообмінник стільникового типу та показана схема руху в ньому теплоносіїв [11]. Теплообмінний елемент являє собою набір круглих трубок, що розташовані у корпусі. Зазори між трубками є проходами для оливи. Охолоджуване повітря протікає всередині трубок. Олива пройшовши увесь міжтрубний простір, направляється в колектор і далі в патрубок 2 для виходу з теплообмінника.

На рис. 3 показаний інший тип повітрямасляного теплообмінника [11]. Він складається з матриці 4, прямокутних фланців каналу продувального повітря, кришок і корпусу клапанів 1, де розміщені переливний 2 і термостатичний 3, а також фланці входу та виходу оливи. Принцип дії теплообмінника полягає в тому, що гаряча олива проходить плоскими трубками з гофрованими пластинами, віддаючи своє тепло продувному повітрю, що проходить по каналах з гофрованими пластинами.

Інтенсивність охолодження оливи у повітрямасляному теплообміннику істотно залежить від умов роботи ГТД, тому такі теплообмінники завжди оснащують системами регулювання витрати охолоджуючого повітря. При роботі двигуна на землі, особливо

при високих температурах навколишнього середовища, іноді не вдається забезпечити необхідний температурний режим для охолодження оливи, що вимагає використовувати ежектор для забезпечення необхідної витрати охолоджуючого холодоносія з атмосфери. При цьому як активне середовище використовується повітря, що відбирається від компресора двигуна.

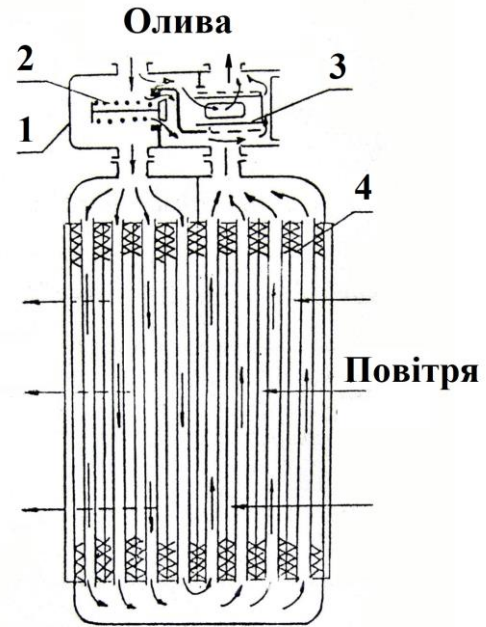


Рис. 3. Схема повітрямасляного радіатора (ВМТ 6888) [11]:

- 1 – корпус клапанів; 2 – клапан переливний; 3 – клапан термостатичний; 4 – матриця

Через особливості робочого процесу в масляній порожнині опори ротора, завдяки наддуванню ущільнень повітрям, в маслосистемі рухається не однофазна рідина – олива, а суміш його з повітрям. При цьому частина повітря розчинена в оливі. Зазначене вище впливає на перебіг теплогідравлічних процесів у маслорадіаторах, незважаючи на їх тип.

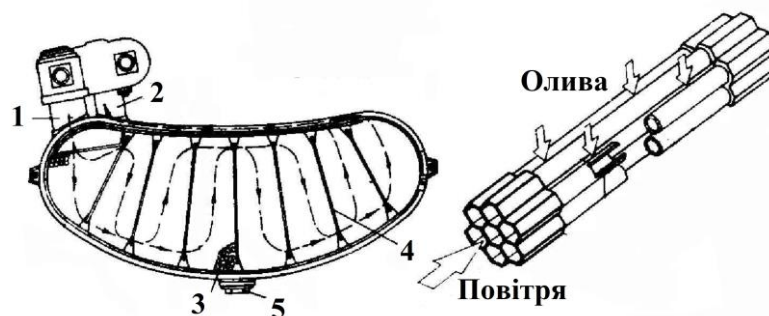


Рис. 2. Схема повітрямасляного радіатора [11]:

- 1 – патрубок входу оливи; 2 – патрубок виходу оливи; 3- теплообмінна секція; 4 – перегородка; 5 – зливна пробка

## Структура двофазного потоку

На перепад тиску та тепловіддачу впливають не тільки газовміст та теплофізичні властивості фаз, а й режим течії (структура) двофазного потоку.

У вертикальному висхідному потоці можуть спостерігатися [13, 14]: бульбашкова течія (рис. 4, а) - бульбашки розподілені в суцільній рідині. Коли концентрація бульбашок стає високою, відбувається злиття бульбашок, і поступово діаметр бульбашок наближається до діаметра каналу, встановлюється снарядний (пробковий) режим течії (рис. 4, б) з характерною формою бульбашок у вигляді снарядів (пробок). Коли витрата газу збільшується, зростає швидкість руху бульбашок у снарядному потоці, і, зрештою, відбувається їх руйнування, внаслідок чого виникає нестійкий режим, так звана спінена течія (рис. 4, в). При кільцевому режимі (рис. 4, г) рідина тече по стінці каналу у вигляді плівки, а газова фаза рухається у центрі. Зазвичай деяка кількість рідини рухається у вигляді дрібних крапель у газовому ядрі. Коли витрата рідини збільшується, зростає концентрація крапель у газовому ядрі кільцевого потоку і, врешті-решт, відбувається злиття крапель, що призводить до появи в газовому ядрі великих грудок рідини, такий режим можна охарактеризувати, як клаптувато-кільцева течія (рис. 4, д).

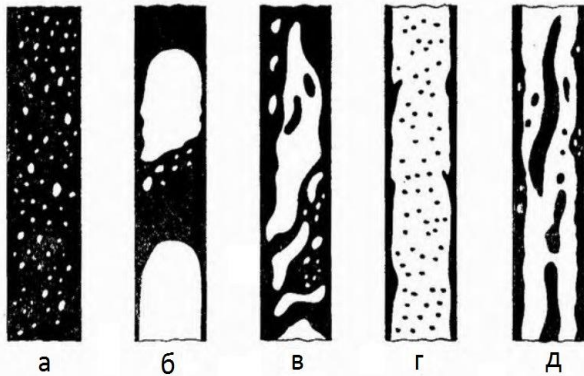


Рис. 4. Режими течії двофазних середовищ у вертикальному висхідному потоці [13]: а - бульбашкова течія; б - снарядна або пробкова течія; в - спінена течія; г - кільцева течія; д - клаптувато-кільцева течія

Головна відмінність горизонтальних та слабко нахилених до горизонту каналів від вертикальних – у несиметрії гравітаційних сил щодо осі каналу. Це викликає зміщення парової фази до верхньої утворюючої, а рідкої – до нижньої у бульбашковому, снарядному, емульсійному та дисперсно-кільцевому режимах, а також до появи розшарованої та розшаровано-хвильової течії двофазного потоку.

## Особливості теплогідрравлічних процесів у маслорадіаторі

Структура двофазного потоку змінюється по всьому контуру маслосистеми. У відкачувальній магістралі з об'ємним газовмістом потоку від 0,7 до 0,1 можливі пінний, розшарований, снарядний або бульбашковий режими течії. У нагнітальному контурі – бульбашковий режим течії. У суфлюючій магістралі потік має, як правило, дисперсну або дисперсно-кільцеву структуру з вмістом газу, близьким до одиниці.

Як правило, маслорадіатор розташовують у відкачувальній магістралі де двофазний потік оливо-повітряної суміші має великий газовміст повітря. Для зменшення газовмісту повітря у деяких маслосистемах ГТД перед маслорадіатором встановлюють повітровідділювач. Але незважаючи на це, на вхід до радіатора все ж потрапляє оливо-повітряна суміш, а не однофазна олива, як вважається при його проектуванні. При цьому газовміст повітря залежить від ефективності відділення повітря в повітровідділювачі, що також треба враховувати при проектуванні маслорадіаторів.

При проектуванні, незалежно від типу маслорадіатора в основі теплового розрахунку лежать рівняння теплового балансу та теплопередачі. Наявність двофазної суміші впливає як на теплофізичні властивості, що входять в основні рівняння теплового розрахунку, так і на перебіг теплогідрравлічних процесів при охолодженні оливи. При цьому структура двофазного потоку значно впливає на теплові та гідрравлічні характеристики радіатора.

Наявність оливо-повітряної суміші знижує коефіцієнт теплопередачі, і як наслідок теплопередавальну здатність маслорадіатора. Це можливо побачити на рис. 5, де показано порівняння розрахункового теплового потоку апарату, без урахування наявності повітря, з визначеним експериментально при стендових випробуваннях.

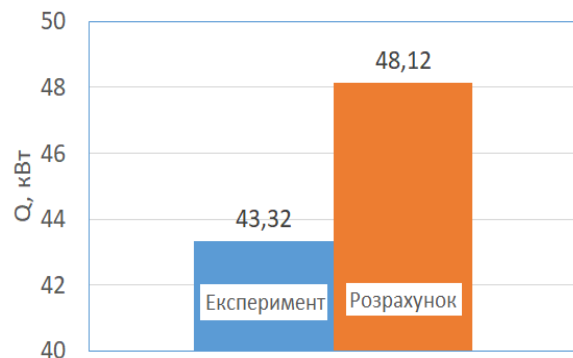


Рис. 5. Теплопередавальна здатність маслорадіатора



Крім цього у деяких випадках може виникати критичний режим течії у каналі, і як наслідок нерозрахункова робота радіатора і маслосистеми в цілому. Це пов'язано з тим, що рівноважна швидкість звуку  $a_p$  для двофазної суміші значно нижча, ніж для однофазної рідини і залежить від істинного об'ємного газозмісту  $\phi$  та тиску  $p$  [15], що показано на рис. 6. Для окремих структур двофазного потоку швидкість звуку може дорівнювати 10-20 м/с, що може якісно змінити характер течії в каналі.

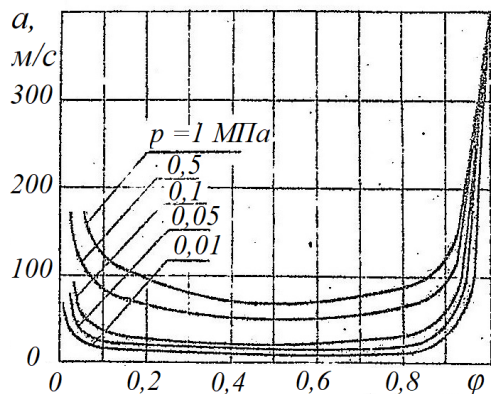


Рис. 6. Швидкість звуку в рівноважній суміші «олива-повітря» [15]

При виконанні гідравлічних розрахунків маслорадіатора слід враховувати особливості двофазної течії в каналі. Найбільш поширений підхід, коли втрати тиску при русі двофазного потоку визначаються на основі співвідношень для однофазного потоку з використанням чинника двофазності при ідентичних масових витратах потоків. Треба враховувати, що втрати тиску двофазного потоку в поворотних ділянках крім ефектів вторинних течій та зміни профілю швидкості визначаються також додатковими втратами через сепарацію фаз.

## Висновки

Для двофазного потоку зміна температури та тиску змінюють не тільки теплофізичні властивості фаз, але також газозміст, щільність та швидкість суміші, що впливає на перебіг теплогідравлічних процесів в маслорадіаторі. За певних поєднань параметрів може змінюватися структура двофазного потоку. Низьке значення рівноважної швидкості звуку (для окремих структур 10-20 м/с) може приводити до нерозрахункової роботи маслорадіатора та маслосистеми в цілому. Крім цього наявність оливо-повітряної суміші знижує теплопередавальну здатність маслорадіатора у порівнянні з результатами розрахунків за стандартними методиками.

Таким чином, для підвищення ефективності маслосистеми надто важливо встановити та

враховувати при проектуванні маслорадіаторів закономірності перебігу теплогідравлічних процесів з урахуванням особливостей двофазної течії оливо-повітряної суміші. З цього приводу, темою наступних досліджень стане удосконалення моделі робочого процесу у маслорадіаторі на базі використання методів механіки багатофазних середовищ та планування експерименту.

**Внесок авторів:** формулювання мети і постановки задачі досліджень – **Т. П. Михайленко**; огляд та аналіз інформаційних джерел – **О. В. Горідько, Т. П. Михайленко**; розроблення концептуальних положень – **І. І. Петухов, Т. П. Михайленко**; аналіз типів та конструкцій маслорадіаторів – **О. В. Горідько, Т. П. Михайленко**; аналіз особливостей теплогідравлічних процесів у багатофазних середовищах – **І. І. Петухов, Т. П. Михайленко**; підготовка та аналіз розрахункових та експериментальних даних з теплопередавальної здатності маслорадіатора – **О. В. Горідько, Т. П. Михайленко**; формулювання висновків – **Т. П. Михайленко, О. В. Горідько**.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

## Література

1. Jafari, S. *Thermal management systems for civil aircraft engines: Review, challenges and exploring the future* [Text] / S. Jafari, T. Nikolaidis // *Applied Sciences*. – 2018. – Vol. 8, No. 11. – P. 1–16. DOI: 10.3390/app8112044.
2. *Особенности моделирования теплогидравлических процессов в маслосистеме ГТД* [Текст] / Т. П. Михайленко, И. И. Петухов, Омар Хадж Аюсса Дуаюсса, Д. А. Немченко // *Вестник двигателестроения*. – 2016. – № 2. – С. 160-165.
3. *Иноземцев, А. А. Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок. Системы* [Текст]: Т. 5, сер. Газотурбинные двигатели / А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. – М. : Машиностроение, 2008. – 200 с.
4. *Домотенко, Н. Т. Масляные системы газотурбинных двигателей* [Текст] / Н. Т. Домотенко, А. С. Кравец. – М. : Транспорт, 1972. – 96 с.
5. *Бич, М. М. Смазка авиационных газотурбинных двигателей* [Текст] / М. М. Бич, Е. В. Вейнберг, Д. Н. Сурнов. – М. : Машиностроение, 1979. – 176 с.
6. *Дуаюсса, Омар Хадж Аюсса. К вопросу моделирования тепловых процессов в масляных полостях опор ротора ГТД* [Текст] / Дуаюсса Омар Хадж Аюсса, Т. П. Михайленко, И. И. Петухов //

*Авиационно-космическая техника и технология.* – 2016. – № 1 (128). – С. 53–57.

7. Моделирование потокораспределения в масляной полости опоры ротора ГТД [Текст] / Дуаиссия Омар Хадж Аисса, Т. П. Михайленко, Д. А. Немченко, И. И. Петухов // *Вестник двигателестроения.* – 2017. – № 2. – С. 59–65.

8. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст] / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергия, 1981. – 488 с.

9. Conjugate heat transfer analysis of a surface air-cooled oil cooler (SACOC) installed in a turbofan bypass duct [Text] / M. Gelain, A. Couilleaux, M. Errera, R. Vicquelin, O. Gicquel // *AIAA AVIATION 2021 FORUM Session: Advanced Thermal Management Technology Development and Validation.* – Virtual event, 2021 – P. 1-22. DOI: 10.2514/6.2021-3163.

10. Transient Analysis of Aircraft Oil Supply System With Fuel-Oil Heat Exchangers During Abrupt Change in Engine Operating Modes [Text] / V. Yevlakhov, L. Moroz, A. Khandrymailov, Yu. Hyrka // *Proceedings of the ASME Turbo Expo 2021. GT2021.* – Virtual, 2021. – P. 1-10. DOI: 10.1115/GT2021-59992

11. Трянов, А. Е. Конструкция масляных систем авиационных двигателей [Текст] / А. Е. Трянов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 81 с.

12. Чигрин, В. С. Конструкция вертолетного ГТД Д-136 [Текст] / В. С. Чигрин. – Киров: КВАТУ, 1990. – 144 с.

13. Баттерворс, Д. Теплопередача в двухфазном потоке [Текст]: пер. с англ. / Д. Баттерворс; под ред. Д. А. Лабунцова. – М.: Энергия, 1980. – 328 с.

14. Лабунцов, Д. А. Механика двухфазных систем [Текст] / Д. А. Лабунцов, В. В. Ягов. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 374 с.

15. Горбенко, Г. А. Гидравлика и теплообмен двухфазных потоков в трубопроводах маслосистем авиадвигателей [Текст] / Г. А. Горбенко, О. Н. Костиков. – Харьков: ХАИ, 1984. – 34 с.

## References

1. Jafari, S., & Nikolaidis, T. Thermal management systems for civil aircraft engines: Review, challenges and exploring the future. *Applied Sciences*, 2018, vol. 8, no. 11, pp. 1-16. DOI: 10.3390/app8112044.

2. Mykhailenko, T. P., Petukhov, I. I., Omar Hajj Aissa Duaissia & Nemchenko, D. A. *Osobennosti modelirovaniya teplogidravlicheskih processov v maslosisteme GTD* [Features of modeling thermal-hydraulic processes in the GTE oil system]. *Vestnik dvigatelestroeniya – Engine Building Bulletin*, 2016, no. 2, pp. 160-165. (in Russian).

3. Inozemcev, A. A., Nihamkin, M. A., & Sandrackij, V. L. *Avtomatika i regulirovanie aviacionnyh dvigatelej I energeticheskikh ustanovok. Sistemy* [Automation and regulation of aircraft engines and power plants. Systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008. 200 p. (in Russian).

4. Domotenko, N. T., & Kravec, A. S. *Maslyanye sistemy gazoturbinyh dvigatelej* [Oil systems of gas turbine engines]. Moscow, Transport Publ., 1972. 96 p. (in Russian).

5. Bich, M. M., Vejnberg, E. V., & Surnov, D. N. *Smazka aviacionnyh gazoturbinyh dvigatelej* [Lubrication of aircraft gas turbine engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 176 p. (in Russian).

6. Duaissia, Omar Hadzh Aissa, Mykhailenko, T. P., & Petukhov, I. I. *K voprosu modelirovaniya teplovyh processov v maslyanyh polostyah opor rotora GTD* [On the issue of modeling thermal processes in the oil cavities of gas turbine engine rotor supports]. *Aviacijno-kosmichna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2016, no. 1(128), pp. 53-57. (in Russian).

7. Duaissia, Omar Hadzh Aissa, Mykhailenko, T. P., Nemchenko, D. A., & Petukhov, I. I. *Modelirovanie potokoraspredeleniya v maslyanoj polosti opory rotora GTD* [Fluid flows simulation in the bearing chamber of GTE]. *Vestnik dvigatelestroeniya – Engine Building Bulletin*, 2017, no. 2, pp. 59-65.

8. Isachenko, V. P., Osipova, V. A., & Sukomel, A. S. *Teploperedacha* [Heat transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1981. 488 p. (in Russian).

9. Gelain, M., Couilleaux, A., Errera, M., Vicquelin, R., & Gicquel, O. Conjugate heat transfer analysis of a surface air-cooled oil cooler (SACOC) installed in a turbofan by-pass duct. *AIAA AVIATION 2021 FORUM Session: Advanced Thermal Management Technology Development and Validation.* – Virtual event, 2021, pp. 1-22. DOI: 10.2514/6.2021-3163.

10. Yevlakhov, V., Moroz, L., Khandrymailov, A., & Hyrka, Yu. Transient Analysis of Aircraft Oil Supply System With Fuel-Oil Heat Exchangers During Abrupt Change in Engine Operating Modes. *Proceedings of the ASME Turbo Expo 2021: Turbomachinery Technical Conference and Exposition*, Virtual, 2021, Article no. GT2021-59992, pp. 1-10. DOI: 10.1115/GT2021-59992

11. Трянов, А. Е. *Konstrukciya maslyanyh sistem aviacionnyh dvigatelej* [Design of aircraft engines oil systems]. Samara, Izdvo Samar. gos. aerokosm. un-ta, 2007. 81 p. (in Russian).

12. Чигрин, В. С. *Konstrukciya vertoletnogo GTD D-136* [Design of helicopter gas turbine engine D-136]. Kirov, KVATU Publ., 1990. 144 p. (in Russian).

13. Баттерворс, Д. *Teploperedacha v dvuhfaznom potoke* [Heat transfer in two-phase flow]. Moscow, Energiya Publ., 1980. 328 p. (in Russian).

14. Labuncov, D. A., & Yagov, V. V. *Mehanika dvuhfaznyh sistem* [Mechanics of two-phase systems]. Moscow, Izd-vo MEI, 2000. 374 p. (in Russian).

15. Gorbenko, G. A., & Kostikov, O. N. *Gidravlika i teploobmen dvuhfaznyh potokov v truboprovodah*

*maslosistem aviadvigatelej* [Hydraulics and heat exchange of two-phase flows in pipelines of oil systems of aircraft engines]. Kharkiv, KHAI, 1984. 34 p. (in Russian).

Надійшла до редакції 12.07.2023, розглянута на редколегії 20.09.2023

## THE SPECIFIC ASPECTS OF THERMAL AND HYDRAULIC PROCESSES IN THE OIL COOLER OF AN AVIATION GAS TURBINE ENGINE

*Taras Mykhailenko, Oleksandr Goridko,  
Illia Petukhov*

The modern gas turbine engines (GTEs) development is associated with an increase in the compressor pressure ratio and the gas temperature at the turbine inlet with a simultaneous reduction in the size and weight of the engine. The reliable operation of the GTE largely depends on the oil system excellence. In circulating oil systems, to ensure the lubrication and cooling of engine friction units, a high multiplicity of oil circulation is necessary. The preparation of oil for the next lubrication cycle is related to its cooling, cleaning of mechanical impurities formed during operation, and air separation. Oil coolers are used to cool the oil in GTEs. Air or fuel can be used as the cooling medium. Regardless of the cooling medium choice, a two-phase mixture (oil-air) and not a single-phase oil, as is considered when designing oil coolers, affects the course of thermo-hydraulic processes. Therefore, the **subject** of this paper is thermohydraulic processes in two-phase media. The **goal** of this study is to determine the specific aspects of thermo-hydraulic processes during the oil-air mixture cooling in an aviation gas turbine engine to further improve oil cooler design approaches. This paper aims to show the differences in the course of thermohydraulic processes in two-phase media from single-phase media and to emphasize the importance of considering them when designing oil coolers. The main **results** are as follows. For a two-phase flow, changes in temperature and pressure change not only the thermo-physical properties of the phases but also the gas content, density, and speed of the mixture, which affects the course of thermohydraulic processes in the oil cooler. Under certain combinations of parameters, the structure of the two-phase flow may change. A low value of the equilibrium speed of sound can lead to unpredictable operation of the oil cooler and the oil system as a whole. In addition, the presence of an oil-air mixture reduces the heat transfer capacity of the oil cooler compared with the results of calculations using standard methods. In **conclusion**, it can be stated that to increase the efficiency of the oil system, it is extremely important to establish the regularities of thermo-hydraulic processes for the two-phase flow of the oil-air mixture and consider this during the design of oil coolers.

**Keywords:** oil cooler; gas turbine engine; two-phase flow; thermo-hydraulic processes.

**Михайленко Тарас Петрович** – канд. техн. наук, доц. каф. аерокосмічної теплотехніки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Горідько Олександр Володимирович** – асп. каф. аерокосмічної теплотехніки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Петухов Ілля Іванович** – канд. техн. наук, доц. каф. аерокосмічної теплотехніки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна.

**Taras Mykhailenko** – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor at Aerospace Thermal Engineering Dept., National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: t.mykhailenko@khai.edu, ORCID: 0000-0003-4708-673X, Scopus Author ID: 57218103709.

**Oleksandr Goridko** – PhD Student at Aerospace Thermal Engineering Dept., National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: alex19gor73@gmail.com, ORCID: 0009-0001-6692-1019.

**Illia Petukhov** – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor at Aerospace Thermal Engineering Dept., National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: ilya2950@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0645-7912, Scopus Author ID: 7004003523.