

3. Бурлака С.А., Явдик В.В., Єленич А.П. Методи досліджень та способи оцінки впливу палив з відновлюваних ресурсів на роботу дизельного двигуна. Вісник Хмельницького національного університету. 2019. № 2 (271). С. 212–220.

4. Запорожець О.І., Бойченко С.В., Матвєєва О.Л., Шаманський С.Й., Дмитруха Т.І., Маджд С.М. Навчальний посібник «Транспортна екологія», 2017 р., Київ. С. 509.

5. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 1966. V. 6. № 1. P. 34–40.

## МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПІДШИПНИКОВОЇ КАМЕРИ ГТД

**Петухов Ілля Іванович**, к. т. н., доцент; доцент кафедри аерокосмічної теплотехніки; Національний аерокосмічний університет

ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,

e-mail: i.petukhov@khai.edu, ORCID: 0000-0002-0645-7912

**Ковальов Артем Вікторович**, аспірант, аспірант;

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,

e-mail: a.kovalov@khai.edu, ORCID: 0000-0002-9493-9769

**Михайленко Тарас Петрович**, к. т. н., доцент; доцент кафедри

аерокосмічної теплотехніки;

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,

e-mail: t.mykhailenko@khai.edu, ORCID: 0000-0003-4708-673X

Камера підшипника (КП) газотурбінного двигуна (ГТД) є однією з ключових деталей, що визначають його ефективність, надійність та безпеку. Вона забезпечує необхідне змащування та тепловідведення при будь-яких обертах підшипника та тепловому стані дотичних елементів ГТД. У зв'язку з цим питання, пов'язані з проектуванням та оптимізацією КП, є актуальними та становлять інтерес для широкого кола дослідників та інженерів. Найбільш складною при моделюванні температурного стану деталей КП та циркулюючої оливи є визначення коефіцієнту тепловіддачі до внутрішньої стінки камери. Складність вирішення цієї задачі обумовлена не тільки геометрією КП, але і наявністю двохфазного потоку змінної структури, який обертається за рахунок обертання валу та відповідних елементів підшипника. Додаткові впливаючі фактори пов'язані зі способом подачі оливи до підшипника та ущільнень.

В останні роки, з розвитком сучасних технологій та методів моделювання, стали доступними нові інструменти та підходи до вивчення робочого процесу підшипникових камер. Але навіть використання гетерогенної моделі Eulerian [1] при тривимірному CFD-моделюванні не є однозначним та вимагає уточнень у визначенні граничних умов, особливо щодо розміру крапель,

формування та течії пристінної оливної плівки. Тому хоча б вибіркова експериментальна верифікація варіантів CFD-моделі обов'язкова. Її реалізація ускладнюється як малим об'ємом наявних експериментальних даних, так і значною тривалістю розрахунку кожного режиму. Останнє, в свою чергу, робить тривимірне CFD-моделюванні проблематичним для використання у дослідно-конструкторській практиці.

Більш придатним у цьому випадку виглядає використання двовимірної моделі нерівноважного двофазного потоку в КП з роздільним описом повітряно-крапельного ядра та пристінної оливної плівки при урахуванні умов їхньої взаємодії [2]. Така модель вірно враховує основні чинники, пов'язані з переносом краплями теплоти з ядра потоку до плівки, нерівноважний між фазний обмін крапель з примикаючим повітрям, з дією сил тяжіння та тертя на пристінну плівку. В результаті вона дозволяє врахувати основні геометричні та всі режимні параметри при визначенні коефіцієнту тепловіддачі до внутрішньої стінки камери.

При моделюванні течії в повітряно-крапельному ядрі використано метод Лагранжа, що дозволило окремо розглянути поле швидкості повітря та рух різних ансамблів крапель від місця генерації до моменту осадження на оливну плівку. При цьому враховується силова та теплова взаємодія фаз, а діаметр крапель визначається за умови їхнього аеродинамічного дроблення в місці генерації.

Потоки крапель розглянуті при різних умовах по обертах валу, по витратах повітря та оливи. Витрата оливи за інших рівних умов визначає товщину оливної плівки, що впливає на внутрішній коефіцієнт тепловіддачі. Гравітація враховується як інший важливий фактор у формуванні плівки, що якісно змінює характер течії плівки, аж до реалізації режиму «захлинання» в області висхідної течії, коли сили тяжіння та пристінного тертя діють у одному напрямку. Ще одним важливим фактором є ефективність видалення оливи у магістраль відкачки.

## **Висновки**

Сформована цілісна двовимірна модель нерівноважного газорідинного потоку в камері підшипника ГТД, яка дозволяє врахувати основні геометричні та всі режимні параметри при визначенні коефіцієнта тепловіддачі до внутрішньої стінки. Зважаючи на малий час розрахунку можливо дослідити внесок кожного з факторів і поелементно ідентифікувати модель та відповідні граничні умови за результатами більш детального моделювання та шляхом зіставлення розрахункових та експериментальних даних.

Модель на основі класичних підходів механіки гетерогенних середовищ враховує усі чинники, що визначають діаметри крапель у зоні їхнього утворення, міжфазну взаємодію у повітряно-крапельному ядрі потоку, рух та теплообмін пристінкової оливної плівки при осадженні крапель. Поперечний профіль параметрів оливної плівки визначається гідродинамічним режимом її течії.

## Література

1. ANSYS Fluent Theory Guide. Release 2021 R1.
2. Петухов, І.І. Математичне моделювання пристінної оливної плівки в камері підшипника ГТД. [Текст] / І.І. Петухов, А.В. Ковальов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2023. – №4. – С. 43-49.

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В ПРОЦЕСІ НАГРІВАННІ КРІОРІДИН В РЕКУПЕРАТОРАХ

**Петухов Ілля Іванович**, канд. техн. наук, доцент каф.  
аерокосмічної теплотехніки,

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,  
e-mail: [i.petukhov@khai.edu](mailto:i.petukhov@khai.edu), ORCID: [0000-0002-0645-7912](https://orcid.org/0000-0002-0645-7912)

**Лисиця Олексій Юрійович**, канд. техн. наук, доцент каф.  
аерокосмічної теплотехніки,

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,  
e-mail: [a.lisitsa@khai.edu](mailto:a.lisitsa@khai.edu), ORCID: [0000-0002-5679-8459](https://orcid.org/0000-0002-5679-8459)

При використанні криогенних рідин в якості теплоносія в рекуперативних теплообмінних апаратах на холодних стінках можуть реалізовуватися умови для випадіння конденсованої фази. За температури міжфазної поверхні нижчої за температуру кристалізації будь-якого з компонентів парогазової суміші можливе утворення льоду. Наявність твердої чи рідкої фази на стінках рекуператора може суттєво вплинути не тільки на перенос теплоти, а і на режим роботи системи в цілому. Конденсація призводить до інтенсифікації теплообміну, кристалізація чи десублімація змінює умови обтікання холодної поверхні та її шорсткість. При цьому зростає термічний опір стінки, а в деяких випадках кристали льоду при сколюванні можуть пошкодити елементи конструкції. На сьогодні питання моделювання тепломасоперееносу при випадінні конденсованої фази вивчені недостатньо і потребують подальшого дослідження.

Метою роботи є удосконалення моделі тепломасоперееносу при випадінні конденсованої фази на холодній поверхні.

Модель передбачає утворення багатокомпонентного шару твердої фази на холодних стінках при температурах, які нижчі за температуру плавлення цих компонентів. За вищої температури утворюється вже рідка плівка. Структура шару конденсованої фази визначається інтенсивністю переносу дифузних компонентів до міжфазної поверхні, а також температурою цієї поверхні. Збільшення товщини шару твердої фази супроводжується підвищенням її температури.

Процес десублімації кожного з дифузних компонентів парогазової суміші завершується при досягненні його температури плавлення. В подальшому відбувається процес формування рідкої плівки на поверхні рекуператора.