

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, 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, 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.

До міжфазної поверхні теплота переноситься випромінюванням, конвекцією і за рахунок теплоти фазового переходу потоку маси дифузних компонентів. Температура міжфазної поверхні з потоком парогазової суміші розраховується з рівняння теплового балансу, в якому сума теплопритоків до міжфазної поверхні відповідає теплоті, що витрачається на фазовий перехід. Відведена теплота визначається термічним опором шару конденсованої фази та стінки при граничних умовах 3-го роду з боку кріоридини. Масоперенос до міжфазної поверхні описується рівняннями масовіддачі для кожного з дифузних компонентів.

Вважається, що густина парової фази на міжфазній поверхні відповідає стану насичення при цій температурі. Коефіцієнт масовіддачі розраховується за допомогою критеріальних рівнянь, які аналогічні рівнянням конвективного теплообміну, але з застосуванням чисел Шервуда і Шмідта.

Розроблена модель дозволяє проводити розрахунки в стаціонарній і нестаціонарній постановках задачі. Для стаціонарного процесу при заданих параметрах гарячого та холодного теплоносіїв визначається структура конденсованого шару та відповідний профіль температури. Для більшості варіантів нагрівання кріоридин в рекуператорах можна розглядати утворення тільки водяного льоду за умови, що рідка плівка зноситься потоком гарячого газу. Для таких умов температура міжфазної поверхні відповідає температурі танення водяного льоду. Далі тепловий потік з боку суміші визначається як сума конвективного і дифузійного потоків. З урахуванням відомих різниць температур і концентрацій визначається термічний опір багатошарової стінки і товщина льоду.

У випадку нестаціонарного процесу зростання товщини шару конденсованої фази супроводжується зміною температури міжфазної поверхні. При досягненні стаціонарного режиму ця температура дорівнює температурі танення водяного льоду. Розраховується тепловий потік з боку парогазової суміші, термічний опір багатошарової стінки і максимальна товщина льоду на поверхні рекуператора.

Висновки. Розроблена модель дозволяє врахувати в стаціонарній і нестаціонарній постановках усі значущі фактори процесу, визначити коефіцієнти теплопередачі в умовах обледеніння теплообмінних поверхонь, тривалість перехідних процесів в рекуператорах та максимальну товщину шару льоду. Це дозволить більш надійно проектувати теплообмінники та точніше визначати їх характеристики на усіх режимах роботи.