Секція 5. НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ДІАГНОСТИКА, ВИПРОБУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕНЕРГОСИСТЕМ. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 629.7.036.3

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ ПРИ ВИПАДІННІ КОНДЕНСОВАНОЇ ФАЗИ ТА ЇЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇЇ НА СТІНКАХ КРІОГЕННИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

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
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

В процесі експлуатації кріогенних теплообмінних апаратів на їх холодних стінках можуть реалізовуватися умови, коли випадатиме конденсована фаза і в подальшому кристалізуватиметься. Наявність рідкої плівки або твердого шару на стінках теплообмінника може в значній мірі вплинути на теплообмін та змінити режим роботи теплоенергетичного обладнання. Конденсація інтенсифікує теплообмін, кристалізація змінює умови обтікання та шорсткість зовнішньої поверхні. Внаслідок формування на стінках твердої фази збільшується їх термічний опір, а за умов розміщення теплообмінника у високошвидкісному потоці кристали льоду при сколюванні можуть пошкодити сусідні елементи конструкції. Аналіз літератури показав, що питання моделювання тепломасопереносу при випадінні конденсованої фази та її кристалізації вивчені недостатньо і потребують подальшого дослідження.

Метою роботи є удосконалення моделі тепломасопереносу при випадінні конденсованої фази та її кристалізації на стінках кріогенних теплообмінників.

Представлена модель описує утворення багатокомпонентного шару твердої конденсованої фази гарячого потоку на зовнішніх стінках теплообмінника при охолодженні холодним теплоносієм через внутрішню стінку. За умови температури на міжфазній поверхні нижчої за температури плавлення будь-якого з дифузних компонентів на стінці утворюється тверда фаза, а при більш високій температурі – рідка плівка. Структура шару конденсованої фази

залежить від інтенсивності переносу дифузних компонентів з гарячого потоку до поверхні розділу фаз, а також від температури міжфазної поверхні. Товщина плівки визначається адгезійними властивостями середовищ та в'язкістю рідини, а також силами тяжіння та зсуву на межі розділу з потоком газу.

При збільшенні на поверхні теплообмінника товщини льоду температура його поверхні підвищується. Процес десублімації кожного з дифузних компонентів набігаючого потоку припиняється при досягненні температури їх плавлення. В подальшому на поверхні формується рідка плівка. Зі збільшенням температури міжфазної поверхні дифузійний потік будь-якого з компонентів зменшується, а при рівності густин припиняється. Ще одна умова утворення конденсованого шару пов'язана зі зміною агрегатного стану конденсованого компонента, який визначається температурою його потрійної точки.

Рідка плівка конденсату на поверхні зростаючого шару льоду спочатку утворюється з дифундуючого компонента, який має найнижчу температуру потрійної точки. Ця плівка може запобігти агломерації інших дифундуючих компонентів із цим шаром. Разом із впливом аеродинамічної взаємодії утвореної плівки рідини з прилеглим газовим потоком може змінюватися форма поверхні. У цьому випадку принципово можливе утворення шуго подібного середовища.

До міжфазної поверхні теплота переноситься випромінюванням, конвекцією і завдяки теплоті фазового переходу потоку маси компонентів, що дифундують. Температура поверхні на межі з потоком парогазової суміші визначається з рівняння теплового балансу, в якому сума теплопритоків до цієї поверхні дорівнює теплоті, що витрачається на фазовий перехід. Відведена теплота визначається термічним опором шару конденсованої фази та стінки. Граничні умови з боку холодного теплоносія визначаються у вигляді коефіцієнта тепловіддачі. Процеси масопереносу до міжфазної поверхні для кожного з дифузних компонентів описуються окремими рівняннями масовіддачі. В моделі зроблено припущення, що густина парової фази на міжфазній поверхні відповідає стану насичення при її температурі. Коефіцієнт масовіддачі розраховується за допомогою критеріальних рівнянь з використанням чисел Шервуда і Шмідта з урахуванням аналогії з процесами теплообміну.

В стаціонарному процесі структура конденсованого шару та його температурне поле визначаються параметрами гарячого та холодного теплоносіїв. Для більшості умов та режимів роботи кріогенних теплообмінників можна розглядати утворення тільки водяного льоду, оскільки решта компонентів мають дуже низьку температуру потрійної точки. За умови високої швидкості потоку парогазової суміші рідка плівка здувається з поверхні. Для таких умов температура міжфазної поверхні відповідає температурі танення водяного

льоду. Тепловий потік з боку гарячого теплоносія визначається сумою конвективного і дифузійного потоків. З урахуванням відомих різниць температур і концентрацій дифузних компонентів розраховується термічний опір багатошарової стінки і товщина льоду.

В нестаціонарному процесі збільшення 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 стінці.

Висновки

Розроблена модель дозволяє розрахувати параметри теплообміну в стаціонарній і нестаціонарній постановках з урахуванням утворення багатокомпонентної конденсованої фази на стінках кріогенних теплообмінників. Модель враховує усі значущі фактори процесу, дозволяє визначити коефіцієнти теплопередачі в умовах випадіння конденсованої фази на стінках, тривалість перехідних процесів та максимальну товщину шару льоду. Це дозволить більш надійно проектувати кріогенні теплообмінні апарати, точніше визначати їх характеристики та режими роботи теплоенергетичних систем.

УДК 621:43.016

ВПЛИВ НЕСПРАВНОСТЕЙ РІДИННИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ НАДІЙНІСТЬ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ

Куликівський Володимир Леонідович, канд. техн. наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу, Поліський національний університет,
e-mail: kylikovskiyv@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4652-0285

Аналіз сучасних систем рідинного охолодження автотракторних двигунів доводить, що їхня функціональна, конструктивна та технологічна складність останнім часом значно зросла. Це є наслідком постійно зростаючих вимог щодо ефективності систем охолодження, на тлі безперервного підвищення рівня форсування двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) [1, 2]. Вивчення даних з експлуатації автотранспортної техніки показує, що 20…35 % відмов та несправностей двигунів припадає на системи охолодження. Здебільшого несправності в рідинних системах охолодження виникають після 160…190 тис.