

ДИФЕРЕНЦІЙНА МОДЕЛЬ ТРАКТУ ОХОЛОДЖЕННЯ КАМЕРИ РРД

Валерій Бучарський

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8245-5652>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Володимир Слюсарев

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2883-7467>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Сьогодні, коли кількість стартапів в ракетно-космічній галузі збільшується з року в рік, особливо важливо мати верифіковані розрахункові методики регенеративного охолодження. Беручи до уваги, що теорія теплопередачі в камерах рідинних ракетних двигунів (РРД) активно не розвивалась з 70-х років минулого століття, зараз існує необхідність в нових моделях систем охолодження, які продовжуючи дослідження попередників, зможуть розкрити потенціал сучасних обчислювальних технологій та врахувати особливості нових методів виробництва ракетно-космічної техніки.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Метою даної роботи є отримання результатів розрахунку проведеного за допомогою нової диференційної моделі тракту охолодження камери РРД.

Далі потрібно підтвердити коректність розробленої моделі. Для цього необхідно провести аналіз отриманих результатів на предмет їх відповідності уявленням про процеси в охолоджуючих трактах камер двигунів.

РІШЕННЯ ЗАДАЧІ

В роботі розглянута диференційна модель, що була розроблена з застосуванням підходу, реалізованого в роботі [1]. Дана модель представляє собою систему звичайних диференційних рівнянь, зведених до безрозмірної форми, що описують течію нестисливої рідини в тракті охолодження камери РРД. Система складається з:

– рівняння збереження маси:

$$\frac{\partial(\rho f u)}{\partial x} = 0;$$

– рівняння збереження імпульсу:

$$\frac{\partial(f(p + \rho u^2))}{\partial x} = p \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{\lambda}{8} \rho u^2 \sqrt{\Pi(x)^2 - \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2};$$

– рівняння збереження енергії:

$$\frac{\partial(f u (p + \rho c T + \frac{\rho u^2}{2}))}{\partial x} + (p u) \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\lambda}{8} \rho u^3 \sqrt{\Pi(x)^2 - \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2} + \alpha (T_w - T) \Pi(x),$$

де ρ – густина охолоджувача;

u – швидкість охолоджувача;

p – тиск охолоджувача;

T – температура охолоджувача;

f – площа поперечного перерізу каналу;

$\Pi(x)$ – периметр каналу;

c – теплоємність охолоджувача;

α – коефіцієнт тепловіддачі;

T_w – температура стінки;

λ – емпіричний коефіцієнт втрат на тертя.

Будемо розглядати рух охолоджувача в каналі з круглою формою прохідного перерізу і діаметром, що лінійно змінюється. Схема та геометричні параметри каналу наведені на рисунку 1.

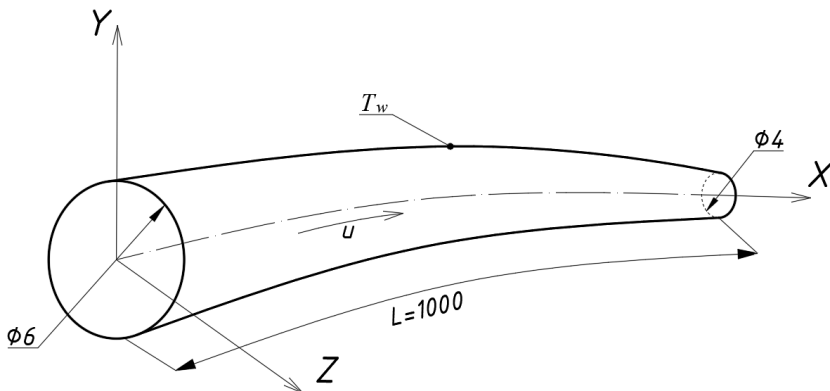


Рисунок 1 – Модель каналу змінної площі

Для отримання рішення диференціальна модель замикалася граничними умовами, чисельні значення яких були прийняті у

відповідності до типових умов роботи трактів охолодження камер РРД:

$$p(0) = 120 \text{ [бар];}$$

$$T(0) = 300 \text{ [K];}$$

$$u(0) = 18.0 \text{ [м/с].}$$

Інші величини параметрів, що необхідні для проведення розрахунку були прийняті постійними і наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Константи, прийняті в розрахунку

Параметр	Позначення	Величина
Теплоємність охолоджувача, Дж/кг/К	c	1000
Коефіцієнт втрат на тертя	λ	1/40
Температура стінки, К	T_w	600
Коефіцієнт тепловіддачі, кВт/м/К	α	100

Для отримання чисельного рішення рівнянь диференційної моделі використовувалась функція NDSolve пакету символьної алгебри Wolfram Mathematica. Результати розрахунку представлені на рисунках 2 – 3.

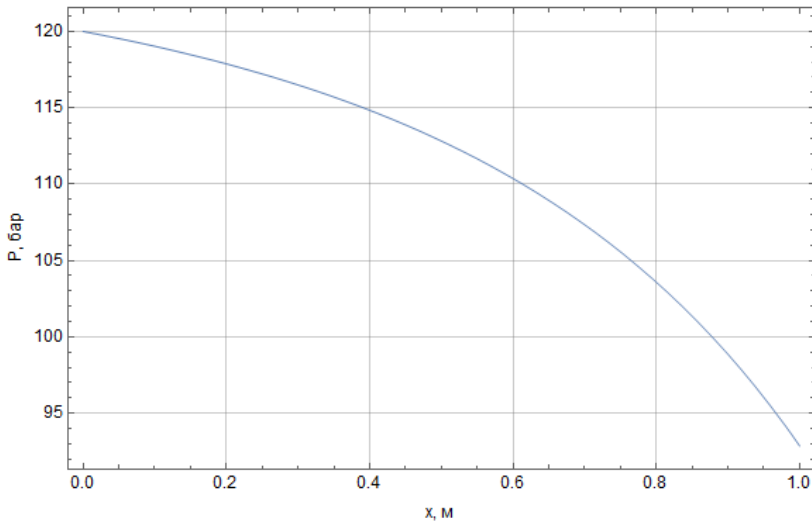


Рисунок 2 – Тиск охолоджувача в каналі

Зміна тиску по довжині каналу, що наведена на рисунку 2 пов'язана з одного боку з безповоротними втратами тиску на тертя, з іншого – обумовлена збільшенням швидкості охолоджувача [2].

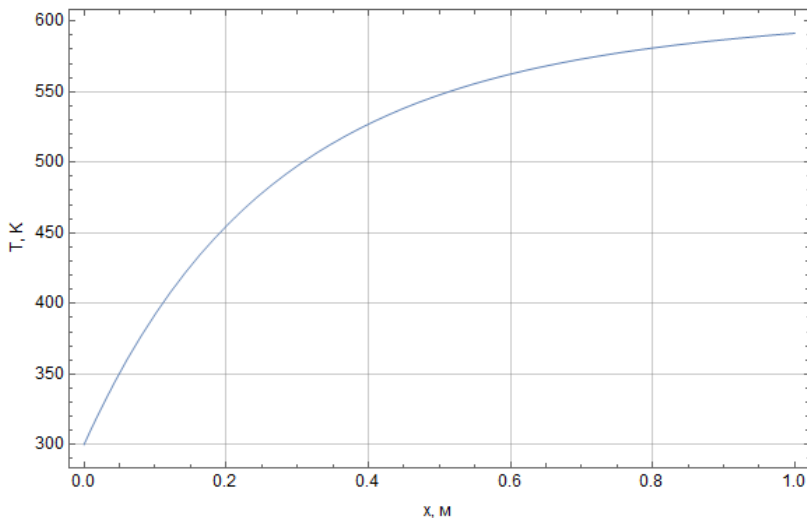


Рисунок 3 – Температура охолоджувача в каналі

На рисунку 3 продемонстровано, що температура охолоджувача в тракті, як і належить [3], змінюється за експонентним законом і прагне до максимально можливого значення – температури стінки каналу.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу можна стверджувати, що отримані за допомогою нової диференційної моделі результати розрахунків не суперечать уявленням про процеси в трактах охолодження камер РРД, що підтверджує коректність розробленої моделі.

ПОСИЛАННЯ

1. Бучарський, В., Алексєєнко, В., & Чернявський, О. (2023). Методика оптимізації експлуатаційних витрат системи опалення автономних споруд. *Вісник Дніпровського університету імені Олеся Гончара. Серія: Ракетно-космічна техніка*, 30 (4), 125-136. <https://doi.org/10.15421/452216>.

2. Идельчик, И. (1993). *Справочник по гидравлическим сопротивлениям*. Высш. шк.

3. Михеев, М., Михеева, И. (1977). *Основы теплопередачи*. Энергия.