

Konwekcyjna wymiana ciepła w zbiorniku statku poddanego wymuszeniom okresowym

Gdańsk, 8 lutego 2021

Praca poświęcona jest tematyce wpływu ruchu statku na konwekcyjną wymianę ciepła w zbiornikach z ładunkiem ciekłym. Przedstawiono uproszczone metody oceny intensywności i charakteru ruchu kadłuba w odpowiedzi na wymuszenia w postaci układu falowego. Skupiono się na ruchu kołysania, jako mającym największy potencjał wywoływania ruchu cieczy w zbiorniku prostopadłościennym. Przeanalizowano szereg przypadków transportu morskiego ładunków ciekłych, celem wyznaczenia zakresów wartości amplitud i okresów ruchu kołysania występujących w praktyce. Dane uzyskane z analizy posłużyły do wyznaczenia parametrów stanowiska modelowego do badań konwekcyjnej wymiany ciepła w zbiorniku całkowicie napełnionym cieczą. Parametry ruchu ustalono zgodnie z zasadami teorii podobieństwa. Stanowisko zaprojektowano, zbudowano od podstaw, uruchomiono i przetestowano. Strumień ciepła i intensywność konwekcyjnego przejmowania ciepła od płynu przez ściany dolną, pionową i górną rejestrowano poprzez pomiar różnic temperatur, przy użyciu zespołów termopar. Wykonano badania eksperymentalne z dwiema cieczami modelowymi: wodą destylowaną i olejem wrzecionowym, zarówno na zbiorniku w spoczynku jak i poddanym wymuszeniom harmonicznym o różnej intensywności. Analizę przypadków dynamicznych poprzedzono obliczeniami pola prędkości cieczy w badanym przypadku zbiornika prostopadłościennego, zamkniętego, wypełnionego cieczą. Wykazano różnice w funkcjach rozkładu prędkości cieczy względem przypadku zbiornika otwartego, z wolną powierzchnią cieczy, będącego przedmiotem badań w pracy Stefana S. Doerffera w 1981 roku. Wyniki przeprowadzonych badań przeanalizowano na kilka sposobów.

Sporządzono ogólny bilans pomiarów mocy grzewczej dostarczonej do zbiornika oraz zmierzonego strumienia ciepła traconego przez ściany dla wszystkich zarejestrowanych stanów ustalonej wymiany ciepła. Przeanalizowano także uzyskane wyniki w ujęciu globalnym, celem wyznaczenia ogólnego współczynnika intensyfikacji wymiany ciepła, w układzie: źródło ciepła - ściany zbiornika, na skutek ruchu zbiornika.

Postawiono hipotezę, że złożony proces wymiany ciepła na drodze konwekcji mieszanej w zbiorniku okrętowym można opisywać poprzez odpowiednie złożenie zjawisk elementarnych. W badanym przypadku, poprzez złożenie zjawiska konwekcji swobodnej, wywołanej różnicą temperatury ściany i cieczy oraz konwekcji wymuszonej, wywołanej oscylacjami przepływu wymuszonego w zbiorniku. Sprawdzono możliwość zastosowania semi-empirycznej metody opracowanej dla procesów wrzenia i kondensacji, zaproponowanej przez J. Mikieliewicza.

Dla każdej ze ścian, wyznaczono także korelacje liczb kryterialnych, pozwalające na obliczenia wartości współczynników przejmowania ciepła w zależności od parametrów cieczy transportowanej i ruchu zbiornika. Korelacje te wyznaczono zarówno z danych uzyskanych z badań eksperymentalnych jak i obliczeń wykonanych w myśl metody semi-empirycznej.

Wyniki te mają duże znaczenie dla zastosowań inżynierskich, do obliczeń bilansów cieplnych zbiorników okrętowych podczas projektowania instalacji grzewczych. Uzyskano nieznane do tej pory korelacje dla ściany górnej zbiornika oraz stwierdzono różnice w korelacjach dla pozostałych ścian, w stosunku do zbiornika z wolną powierzchnią cieczy.

Prof. dr hab. inż. Piotr Mikieliewicz