MECHANIKA		4-M/2011
CZASOPISMO TECHNICZNE	WYDAWNICTWO	ZESZYT 7
TECHNICAL TRANSACTIONS	POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ	ISSUE 7
MECHANICS		YEAR 108

MARIUSZ DOMAGAŁA*

SYMULACJA RUCHU CIECZY W ZBIORNIKACH PRZENOŚNYCH

SIMULATION OF LIQUID SLOSHING IN MOBILE TANKS

Streszczenie

W artykule przedstawiono symulację falowania cieczy znajdującej sie w zbiorniku podczas krótkotrwałego, wzdłużnego przyśpieszenia o wartości 2g. Symulacje przeprowadzono przy wykorzystaniu metod CFD w systemie Ansys CFX dla zbiornika bez przegród, jak i z różnymi konstrukcjami przegród. Przedstawiono wyniki symulacji w odpowiednich przedziałach czasowych, jak również wypadkową siłę wzdłużną działającą na zbiornik w zależności od rodzaju stosowanych przegród.

Słowa kluczowe: powierzchnia swobodna cieczy, analiza CFD, zbiorniki

Abstract

This paper presents simulation of sloshing during short time longitudinal acceleration at mobile tank using CFD tools Ansys CFX. It was presented shape of free surface shape at various time steps as well as a resultant force acting on tank walls.

Keywords: free surface flow, CFD simulation, mobile tank



^{*} Dr inż. Mariusz Domagała, Instytut Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Zbiorniki przenośne używane są od wielu lat do transportu różnego rodzaju cieczy takich jak woda, produkty naftowe oraz cieczy kriogenicznych (skroplonych gazów). Zbiorniki te sa szeroko wykorzystywane w transporcie drogowym oraz kolejowym i bardzo często są projektowane jako uniwersalne do transportu rodziny produktów o zbliżonych własnościach. Zbiorniki przenośne muszą spełniać szereg wymagań konstrukcyjnych i eksploatacyjnych, mogą być narażone na działanie wysokich ciśnień, niskich temperatur oraz dynamicznego oddziaływania cieczy występujących w normalnej eksploatacji. Ze względu na różnice w gęstościach oraz dopuszczalne ładowności pojazdów drogowych i kolejowych może wystąpić sytuacja, w której zbiornik jest wypełniony tylko częściowo. Dla takich przypadków normy [1, 2] określają stosowanie odpowiednich przegród w celu wyeliminowania niekorzystnego oddziaływania falującej cieczy na konstrukcję zbiornika oraz pojazdu, czy też kontenera. W przypadku zbiorników, które są wykonywane w zabudowie kontenerowej odpowiednie normy [2] definiują wymagania dotyczące przegród, objętości cieczy, która ma być ograniczona przegrodami oraz wielkością powierzchni czołowej. Normy przewidują również obciążenia, które mają przenosić przegrody oraz zbiorniki dla dynamicznego oddziaływania cieczy.

W artykule przedstawiono symulację ruchu cieczy w zbiorniku walcowym dla przyspieszenia wzdłużnego 2g, wykorzystując metody CFD. Symulacje wykonano dla zbiornika bez przegród oraz z dwoma różnymi rodzajami przegród w przypadku, gdy zbiornik wypełniony jest do połowy nominalnej objętości. Do symulacji numerycznej wykorzystano oprogramowanie Ansys CFX.

2. Obiekt badań

Obiektem badań jest zbiornik walcowy o średnicy 2,5 m i długości 10 m z eliptycznymi dennicami o objętości ok 47,5 m³. W symulacji ruchu cieczy, podczas krótkotrwałego przyspieszenia wzdłużnego o wartości 2g, trwającego 0,2 s, wykorzystano zbiornik bez przegród i z przegrodami (rys. 1).



Rys. 1. Zbiorniki wykorzystane w symulacji ruchu cieczy Fig. 1. Tanks used in simulation of liquid sloshing

Przegrody eliptyczne o powierzchni czołowej wynoszącej 75% przekroju poprzecznego zbiornika dzielą objętość zbiornika na trzy równe części (rys. 2). Przegrody różnią się rozmieszczeniem otworów. Pierwsze rozwiązanie charakteryzuje się dwoma otworami rozmieszczonymi w linii pionowej oraz jednym otworem centralnym. Drugie rozwiąza-

88

nie to jeden mniejszy otwór centralny, cztery mniejsze otwory rozmieszczone co 90° i dwa otwory rozmieszczone w linii pionowej.



Rys. 2. Kształt przegród zbiornika, powierzchnia czołowa przegród wynosi 75% powierzchni czołowej zbiornika Fig. 2. Baffles used in the tank, area of cross section is 75% of the tank

3. Analiza CFD

Analizę CFD ruchu cieczy w zbiorniku wykonano w systemie Ansys CFX. Modele geometryczne zbiorników zostały wykorzystane do budowy modeli numerycznych. Wykorzystano połowę modelu geometrycznego definiując odpowiednie warunki brzegowe w płaszczyźnie symetrii. Na rysunku 3 przedstawiono model zbiornika z przegrodami wykorzystany do symulacji. Wykonano symulację w stanie nieustalonym, zakładając model turbulencji k- ϵ dla modelu dwufazowego, w którym faza ciekła (woda) zajmuje połowę objętości zbiornika. Pominięto wymianę ciepła pomiędzy poszczególnymi fazami i otoczeniem oraz chropowatość i sprężyste odkształcenia ścian zbiornika oraz przegród.



Rys. 3. Model CFD zbiornika Fig. 3. CFD model

Symulację ruchu cieczy zbiornika przeprowadzono dla wszystkich zbiorników w takich samych warunkach. Przedstawione na rysunku 4 kształty powierzchni swobodnej, w różnych przedziałach czasowych, pozwalają określić wpływ przegród na ruch cieczy podczas działania przyspieszenia wzdłużnego. Zgodnie z przewidywaniami można zauważyć, że wraz z upływem czasu wysokość fal cieczy w zbiornikach z przegrodami znacznie się zmniejsza w porównaniu ze zbiornikiem bez przegród.

Po analizie przedstawionych wyników można stwierdzić, że wysokość fali cieczy w zbiornikach wyposażonych w przegrody po czasie ok 7,5 s od impulsu wymuszającego jest niewielka w porównaniu do wysokości fali po ok 0,7 s. Natomiast w przypadku

89

zbiornika bez przegród wysokość fali po tym samym czasie osiąga wartość prawie równą wysokości fali w początkowym czasie symulacji. Zjawisko to przekłada się na wartości sił generowanych na ściankach zbiornika. Na rysunku 5 przedstawiono wartości sił wywołanych ruchem cieczy występujących na ściankach zbiornika.



Rys. 4. Kształt powierzchni swobodnej dla różnych czasów symulacji Fig. 4.Free surface shape in simulation time

Wykresy sił występujących na ściankach zbiornika potwierdzają wyniki przedstawione na rys. 4. W przypadku zbiornika bez przegród siły działające na zbiornik po 4,5 s są tylko 18% mniejsze niż wartości maksymalne. Natomiast w przypadku zbiorników z przegrodami wartości sił zmniejszają się o ok. 75% już po 1,7 s. Innym zjawiskiem, które można zauważyć jest większa wartość sił działających na ścianki zbiornika w przypadku zastosowania przegród, dla analizowanego wymuszenia wynosi ok. 30% więcej w porównaniu do zbiornika bez przegród. Można również zauważyć, że dla drugiego kształtu przegrody zjawisko falowania cieczy zanika szybciej niż w przypadku pierwszej przegrody, pomimo, że maksymalne wartości sił są nieco większe.

90





4. Wnioski

W artykule przedstawiono symulację ruchu cieczy w zbiornikach walcowych wypełnionych do połowy cieczą. Przedstawiono symulację numeryczną z wykorzystaniem metod CFD dla trzech wariantów: zbiornik bez przegród oraz dla zbiorników z rożnymi kształtami przegród. Analizę numeryczną wykonano w systemie Ansys CFX w stanie nieustalonym dla płynów dwufazowych. W wyniku przeprowadzonych symulacji otrzymano kształty powierzchni swobodnej cieczy w zbiorniku dla różnych przedziałów czasowych. Uzyskano również informację o wartościach sił działających na ścianki zbiornika podczas falowania cieczy wywołanego krótkotrwałym działaniem przyspieszenia.

Metody CFD można wykorzystać w procesie projektowania zbiorników do obliczania wytrzymałości zbiorników na oddziaływanie dynamiczne cieczy podczas przyspieszeń występujących w eksploatacji.

Literatura

- [1] ISO 1496: Series 1: freight containers–Specifications and testing–Part 3: Tank containers for liquids, gases and pressurized dry bulk, November 1999.
- [2] EN13530-2: Cryogenic vessels–Large transportable vacuum insulated vessels–Part 2: Design, fabrication, inspection and testing.
- [3] Cloete S., Olsena J.E., Skjetne P., CFD modeling of plume and free surface behavior resulting from a sub-sea gas release, Applied Ocean Research, Vol. 31, 2009, 220-225.
- [4] Gryboś R., Podstawy mechaniki płynów, Cz. 1, Kinematyka, dynamika cieczy i gazów, hydrostatyka, PWN, Warszawa 1998.
- [5] Warmowska M., Numerical simulation of liquid motion in partly filled tank, Opuscula Mathematica, Vol. 26, No. 3, 2006.