

УДК 532.53

## Ефективність демпфірування інерційних течій у резервуарах плаваючими перегородками

Ковальов В.А., Вей Ченьюй

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

При перевезенні великих об'ємів технічних рідин, наприклад, нафти у великих резервуарах, експлуатаційники часто стикаються з неконтрольованими внутрішніми резонансними течіями, так званими плесканнями, які завдяки великій масі рідини утворюють систематичні силові впливи на внутрішні конструкції.

У поданому матеріалі представлено результати чисельного моделювання замкнених течій в'язкої рідини при її резонансних коливаннях у резервуарах. При аналізі гідродинамічного механізму течій, що розглядаються, важливим є виявлення силових впливів основної маси рідини на стінки резервуара, а також внутрішні нерухомі перегородки.

Через наявність і систематичні міграції рухомих мас рідини в межах резервуара виникають суттєві нестійкості, а також ударні тиски на стінки і внутрішні конструкції, що у свою чергу приводить до деформації і навіть руйнування силових конструкцій. У матеріалі наводяться приклади розподілу і розвитку інерційних течій з точки зору силових дій на внутрішні конструкції.

Ключові слова: резервуар з рідиною; резонансні коливання рідини; власна частота коливань

Останнім часом великої популярності набули теоретичні дослідження, що базуються на чисельному моделюванні різноманітних течій в'язкої рідини в обмежених резервуарах. Широко відомі результати симуляції різко нелінійних течій при коливаннях резервуарів великих об'ємів у широкому діапазоні власних частот [1, 2]. Вони досить повно та якісно замінюють експериментальні дослідження подібних гідродинамічних процесів через те, що завдяки сучасним засобам математичного моделювання можна врахувати навіть найдрібніші і слабкі за розподілом параметрів течії у межах резервуара.

На рис.1 представлена картина інерційних течій в кубічному резервуарі при горизонтальних коливаннях і утворенню ударних впливів на праву вертикальну стінку. З рисунка видно суттєве зменшення (на 33 % об'єму) збурених областей потоку через вплив плаваючої приповерхневої перегородки.

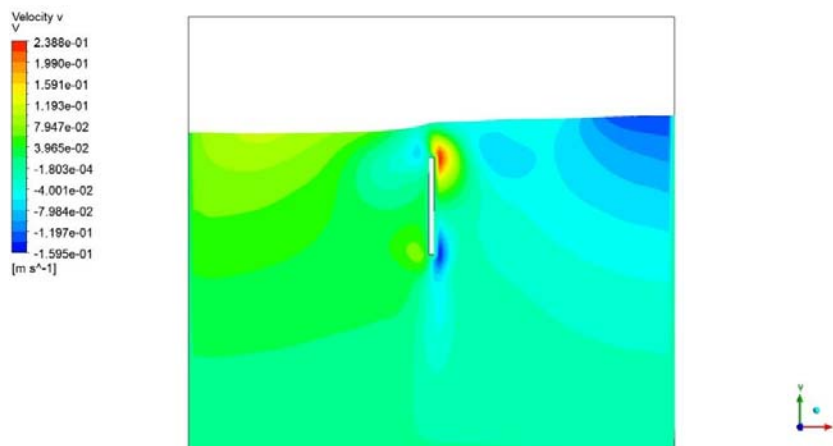


Рис.1. Розподіл горизонтальної компоненти швидкості рідини у приповерхневій області резервуара, зокрема у зоні розташування плаваючої вертикальної перегородки  $h/H=0,3$  [3]

У порівнянні з придонною конструкцією (нижня крива на рис.2) частота коливань потоку плаваючої конструкції майже не відчуває зниження власної частоти коливань і таким чином силові впливи рідини фактично не змінні (рис.2, верхня крива).

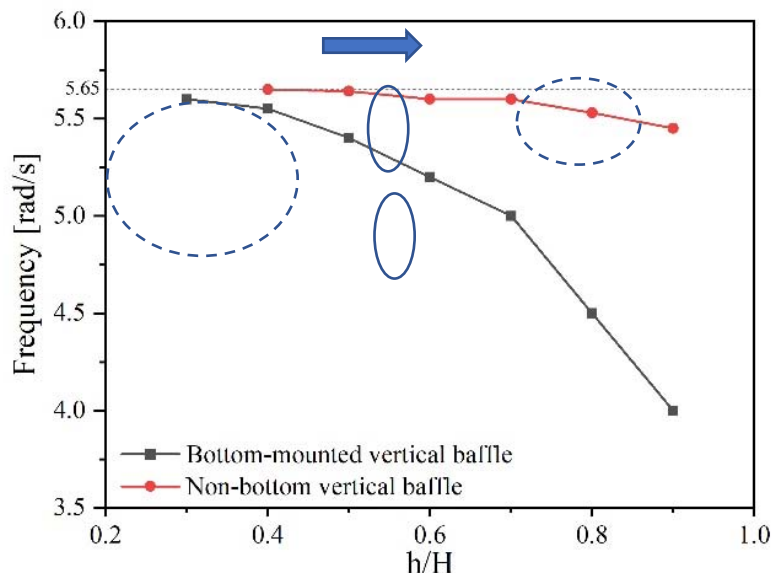


Рис.2. Залежність частоти коливань поверхні рідини від розташування плаваючої перегородки в резервуарі [4]: 1-придонна вертикальна перегородка; 2- перегородка, що відстоїть від дна резервуара; 3- частота коливань, 1/с

На рис.3 представлена залежність максимальної зміни відносної висоти поверхні розділу течії при коливаннях з різними за висотою перегородками (від 0,3H до 0,9H), причому максимальний підйом рідини відповідає випадку без перегородки. Це свідчить про те, що неконтрольована течія може спричинити більш енергоємні резонансні плескання у приповерхневому шарі резервуара. Отже, саме в цих областях потоку потрібно застосовувати плаваючі конструкції перегородок.

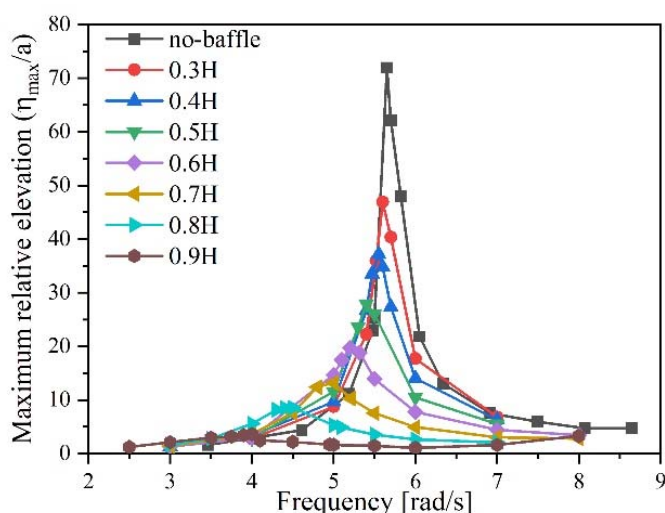


Рис.3. Максимальний відносний підйом поверхні рідини в залежності від частоти коливань стінок резервуара:1-частота коливань, 1/с; 2-без перегородки [5]

Крім того, з рис.3 очевидно, що максимальна частота, за якої має місце величина підйому становить 5,6 1/с, що свідчить про активну фазу розвитку інерційних течій і формування силових впливів у просторі резервуара у період направлено руху рідини до правої стінки резервуара. Зменшення резонансної частоти підйому рідини у резервуарі залежить не тільки від геометрії вертикальної перегородки, але й від розташування її у приповерхневих шарах течії [3,5].

Таким чином, можна стверджувати про те, що за рахунок довжини перегородки  $H$  можна суттєво впливати на утворення силових дій з боку інерційних течій рідини у резервуарі.

#### **Висновки**

Розташована у приповерхневій зоні течії вертикальна плаваюча перегородка сприймає максимальний інерційний силовий момент течії і розподіляє його у діапазоні частот 5,5 – 6,1 1/с, що відповідає максимальному впливу на течію. Результати моделювання силової дії перегородки досить сильно виражені у графічних залежностях щодо поля швидкостей та інерційних моментів впливу на стінки резервуара [3,5].

Подальше моделювання резонансних течій приводить до можливості прогнозування найбільш небезпечних режимів розподілу швидкостей та силових впливів у найбільш динамічних зонах потоку. Результати моделювання у більш широкому діапазоні власних коливань резервуара можуть бути представлені у наступних публікаціях.

#### **Список використаних джерел**

1. LUO M, WANG X, JIN X, et al. Three-dimensional sloshing in a scaled membrane LNG tank under combined roll and pitch excitations[J]. Ocean Engineering, 2020, 211: 107578.
2. KIM S Y, KIM K H, KIM Y. Comparative study on model-scale sloshing tests[J]. Journal of Marine Science and Technology, 2012, 17(1): 47-58.
3. Belakroum R., Kadja M., Mai T.H. ,et al. «An efficient passive technique for reducing sloshing in rectangular tanks partially filled with liquid» [J]. Mechanics Research Communications, 2010, 37(3): pp.341-346. DOI:10.1016 /j.mechrescom. 2010.02.003.
4. Ковальов В.А., Вей Ченьюй, Імітація резонансних плескань рідини у резервуарі з вертикальною перегородкою– J. of Adv. Eng. Vol. 8, No. 3, 2024, pp. 310–315. DOI: 10.20535/2521-1943.2024.8.3(102).299586
5. L Ren, Y Zou, J Tang, et al «Numerical Modeling of Coupled Surge-Heave Sloshing in a Rectangular Tank with Baffles» Shock and Vibration Hindawi, 2021, Article ID 5545635, 11 pages <https://doi.org/10.1155/2021/5545635>.

*Tanks, operators often encounter uncontrolled internal resonant flows, so-called sloshing, which in many cases create systematic force flows on internal structures.*

*This material presents the results of numerical modeling of closed viscous flows during resonant rocking of tanks. When analyzing the hydrodynamic mechanism of flow, it seems important to identify forceful inflows of the main mass of the liquid onto the walls of the tank, as well as internal intact baffles.*

*Through the presence and systematic migration of dry oils between the tank, there is a rise in structural instability, as well as impact pressure on the walls and internal structures, which can lead to deformations and cause collapse of power structures. The material is subject to the application of division and development of inertial flows from the force point of view actions on internal structures.*

*Key words:* reservoir with a liquid; resonant oscillations; own flow frequency