

УДК 532.53

## Ефективні методи і засоби демпфірування ударних тисків у резервуарах з рідиною

Ковальов В.А., Вей Ченьюй

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Україна

*Анотація:* У пропонованій статті наведено матеріали експериментальних та математичних досліджень внутрішніх інерційних течій нестисливої рідини при її коливаннях у резервуарах. Проведений аналіз сучасних проблем, пов'язаних зі шкідливим впливом резонансних плескань рідини на конструкції резервуарів, а також на траєкторію та характер руху самого об'єкта з рідиною

Застосування у подібних замкнених потоках демпфіруючих перегородок та напрямних апаратів дозволяє докорінно змінити структуру внутрішніх течій, зменшивши градієнти ударних тисків у потоках, а також перерозподілити основні інерційні впливи рідини. Чисельне моделювання подібних течій якісно підтверджує результати експериментальних досліджень і дозволяє побудувати досить складну нестационарну трьохмірну картину розвитку коливань у потоках рідини.

**Ключові слова:** резервуар з рідиною; резонансні коливання рідини; розподіл ударних тисків; демпфірування інерційних течій

Застосування пропонованих лабіринтних конструкцій демпферів дозволяє лише гідравлічними засобами керувати силовими впливами рідини і таким чином зменшити кількість та габарити внутрішніх напрямних апаратів.

При плесканні рідини від впливу зовнішніх масових сил у частково заповнених баках, як правило, виникають так звані ударні тиски, створювані великою кількістю та значною кінетичною енергією маси рідини. Такі дії з боку рідини, особливо при резонансних плесканнях, можуть становити серйозну небезпеку для міцності та витривалості конструкцій резервуарів, морських танків, паливних цистерн і баків літальних апаратів тощо.

Для детального вивчення зазначених явищ і процесів у середині минулого сторіччя стали широко застосовуватися досить тривалі та дорогі експериментальні дослідження внутрішніх течій у резервуарах [1, 2], з використанням сучасної на той час вимірювальної та реєструючої техніки. Аналіз результатів вимірювання швидкостей та тисків дозволяв отримати досить складну картину розподілу гідродинамічних параметрів та пропонувати раціональні конструкції внутрішніх демпфіруючих пристроїв для зменшення резонансних впливів рідини на конструкції баків.

Чисельне моделювання внутрішніх течій дозволило значно ефективніше визначити оптимальні за конфігурацією та розташуванням у потоці рідини конструкції демпферів для зменшення впливу резонансних плескань та ударних тисків на стінки та днище резервуару [3,4]. Крім того, використання нелінійних рівнянь руху рідини у резервуарах дозволило виявити та кількісно оцінити найдрібніші вторинні течії та гідродинамічні ефекти для побудови коректної картини розвитку силових впливів резонансних потоків на стінки резервуарів та внутрішні перегородки.

Метою поданого дослідження є аналіз гідродинамічного механізму внутрішніх резонансних течій в обмежених об'ємах, створення фізичної та математичної моделей трьохмірних течій при плесканні рідини у резервуарах різної конфігурації за допомогою рівнянь руху та відповідних граничних умов та розробка найбільш раціональних з гідродинамічної точки зору внутрішніх демпфіруючих пристроїв для силового впливу на рідину.

У якості прикладу позначених течій використано результати математичних досліджень S.Rakheja [1], наведених на рис.1, де у трьохмірному вигляді показано процеси перетікання та плескання в'язкої рідини у циліндричній цистерні.

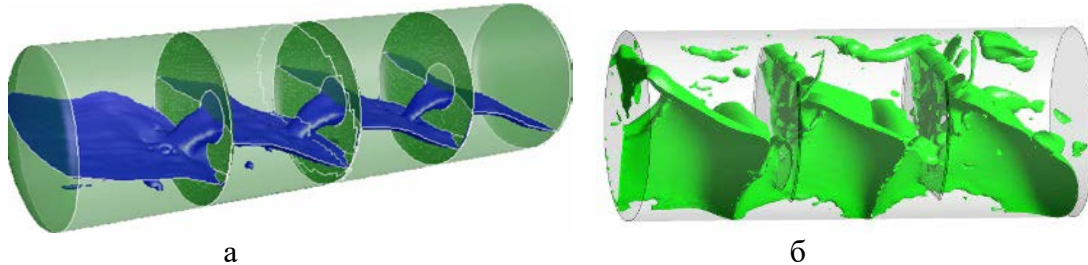


Рис.1. Результати чисельного моделювання процесів плескання рідкого палива у циліндричній залізничній цистерні [1]: а – розташування рідини у резервуарі, б – розподіл ударних тисків на вертикальних стінках резервуару

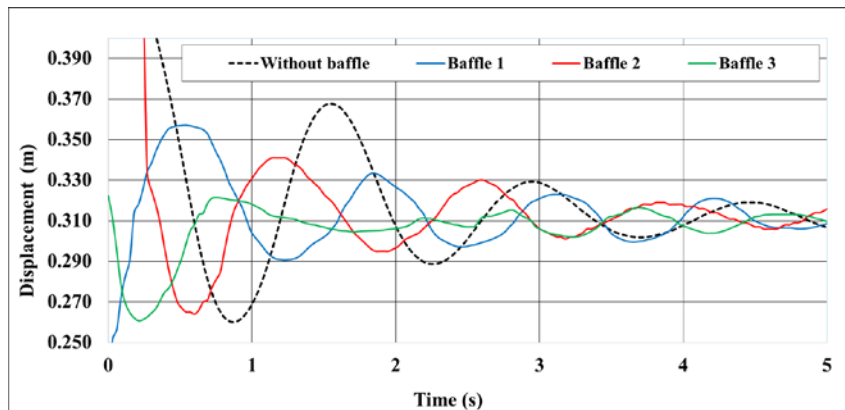


Рис.2. Залежність розташування рідини у цистерні у резервуарах без перегородок, з однією, двома та трьома перегородками [1]

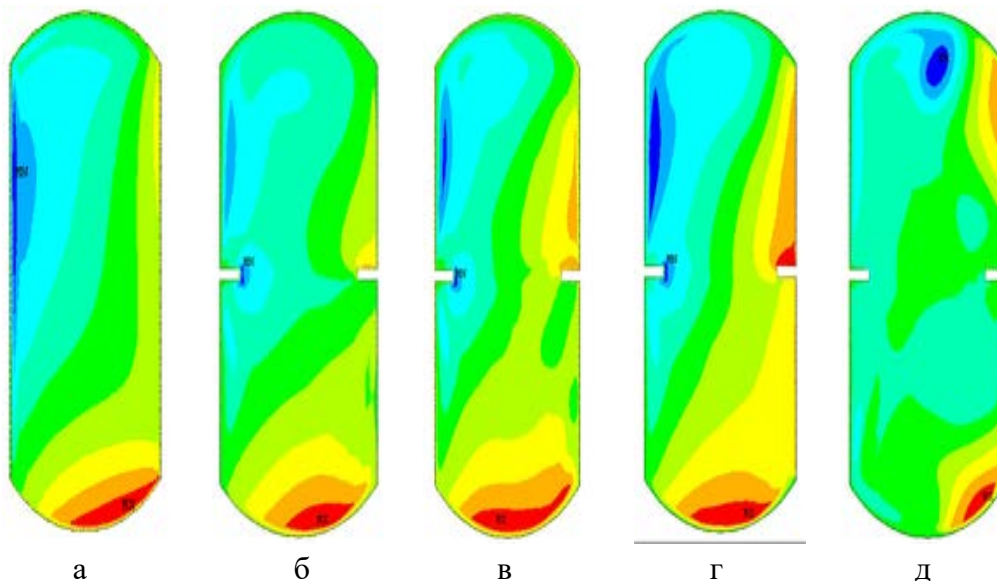


Рис.3. Розподіл тиску у циліндричному резервуарі на круговій траєкторії рухомого об'єкта без внутрішніх перегородок (а), а також з двома поперечними перегородками у різні моменти руху: б –  $T=1,8$  с; в –  $3,6$  с; г –  $7,2$  с; д –  $11,5$  с

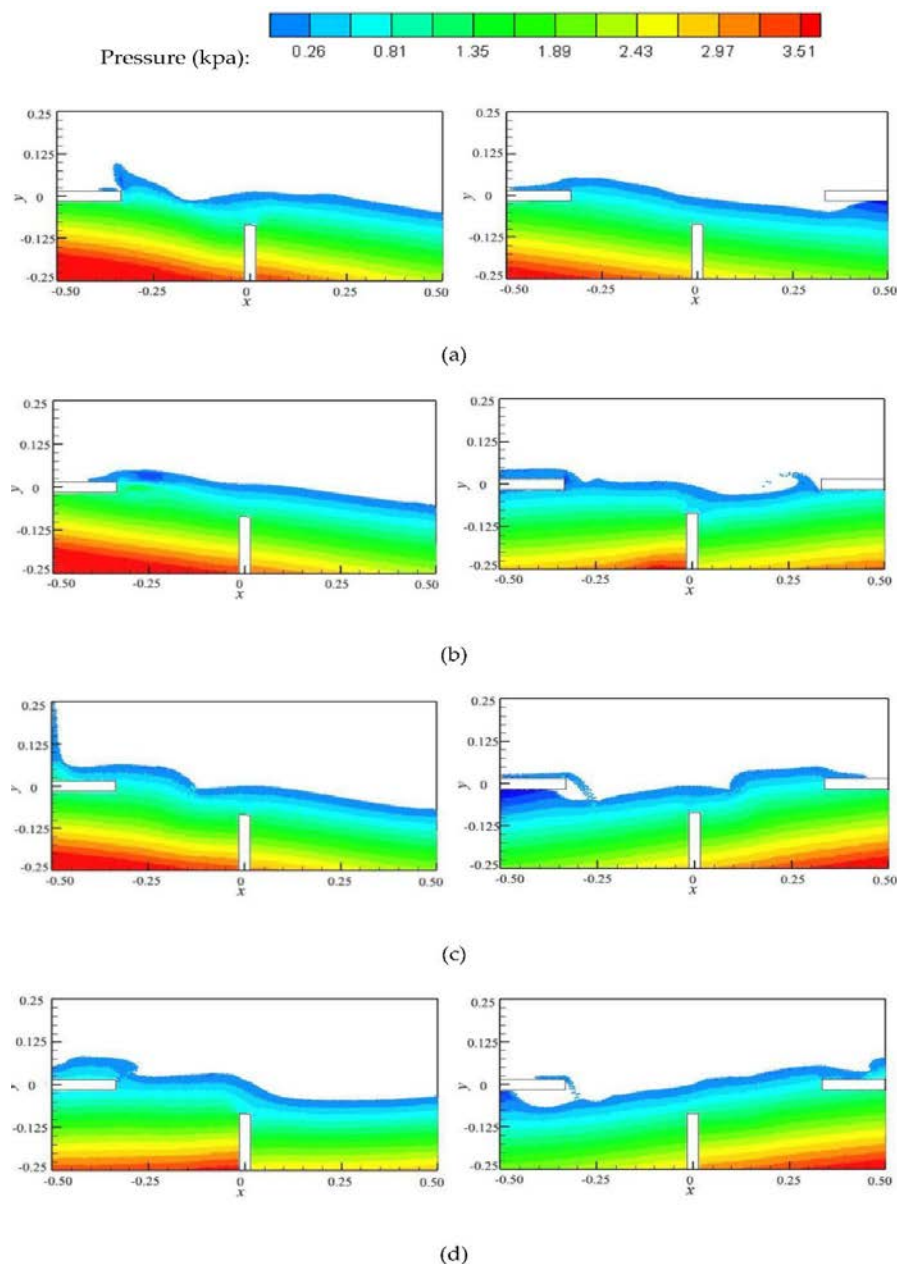


Рис.4. Результати розрахунку течії нестисливої рідини крізь різно-орієнтовані внутрішні перегородки [2]: (a) 0,0T; (b) T/6; (c) T/3; (d) T/2 (ліворуч: випадок, рис. 5d; праворуч: випадок, рис. 5e)

Наведені аргументи щодо інерційних течій нестисливої рідини, свідчать про те, що одним з ефективних методів їх стримування представляється використання так званих лабиринтних конструкцій напрямних апаратів, один з прикладів який наведено на рис.4. Пропонувана течія, проходячи крізь різноорієнтовані перегородки, змінюючи напрям руху і долаючи штучні звуження ефективного перерізу, прискорюється і таким чином втрачає велику частину кінетичної енергії. Подібне розсіювання енергії стає причиною суттєвого зменшення резонансних плескань і ударних тисків у резервуарі.

## Висновки

Серед великої кількості засобів силового впливу на внутрішні течії нестисливої рідини при плесканні у частково заповненому резервуарі найбільш поширеними є жорсткі плоскі перегородки, розташовані на стінках і донній частині резервуара. Вони складають основний потенціал для керування інерційних течій та саме за їх допомоги можна уникнути великих силових впливів потоку на конструкції резервуара.

Крім процесу відбивання хвильових та резонансних потоків від коливань рідини у резервуарі, додаткові внутрішні конструкції значно збільшують сумарну вагу та інертність резервуара, тому набуває особливої актуальності не тільки зменшення кількості перегородок та напрямних апаратів, а й збільшення ефективності їх роботи. Цього можна досягти за допомогою використання, наприклад, гнучких конструкцій, а також методом організації спеціальних поглиначів кінетичної енергії рідини із застосуванням гідравлічних опорів.

Як зазначається, потік, долаючи штучні перешкоди, наприклад, лабіринтні, втрачає частину енергії та не може скласти достатню сумарну резонансну величину для формування надмірного ударного тиску. Тому використання подібних поглиначів енергії є досить актуальним поряд з гнучкими конструкціями перегородок, динаміка яких в обмежених об'ємах буде розглядатися у наступних наукових публікаціях.

#### Список літератури

1. Rakheja S., Stiharu I. etc, Three-dimensional analysis of transient slosh within a partly-filled tank equipped with baffles *Vehicle System Dynamics* Vol. 45, No. 6, June 2007, pp.525–548.
2. Zheng X, You Y., Ma Q., Khayyer A., A Comparative Study on Violent Sloshing with Complex Baffles Using the ISPH Method *Appl. Sci.* 2018, 8, 904; doi:10.3390/app8060904 [www.mdpi.com/journal/applsci](http://www.mdpi.com/journal/applsci)
3. Ugur O., Bilici G, Akyildiz H. «Liquid sloshing in a two-dimensional rectangular tank: A numerical investigation with a T-shaped baffle».- *Ocean Engineering* 187 (2019), 106183.
4. Zhang E., Zhu W., Wang L. «Influencing analysis of different baffle factors on oil liquid sloshing in automobile fuel tank» *J Automobile Engineering*. – I mech E, 2020, pp.1–14 [sagepub.com/journals-permissions](http://sagepub.com/journals-permissions) DOI: 10.1177/0954407020919584.

### Effective methods and devices of damping the shock pressures in liquid tanks

Vasyl Kovalev, Wei Chenyu

*The proposed material provides the results for experimental and mathematical studies of internal flows of an incompressible liquid during its oscillation in tanks. An analysis of modern problems related to the harmful effect of resonant liquid sloshing in tank structures, as well as on the trajectory and nature of the movement of the object itself with the liquid, was carried out.*

*The use of damping baffles and guide devices in such closed flows allows to fundamentally change the structure of internal flows, reducing the shock pressure gradients in the flows, as well as redistributing the main inertial effects of the liquid.*

*Numerical modelling of such flows qualitatively confirms the results of experimental studies and allows us to build a rather complex non-stationary three-dimensional picture of the fluctuations development in fluid flows.*

*Keywords: tank with liquid; resonant fluid oscillations; shock pressure distribution; damping of inertial flows*