



ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник Директора
Інституту математики НАН України

Віталій ВАСИЛИК
13.03.2026 р.

ВИСНОВОК

семінару відділу математичних проблем механіки та теорії керування Інституту математики Національної академії наук України про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів дисертації Міляєва Антона Олександровича на тему «Machine learning of hydrodynamic reduced order models on nonlinear resonant liquid sloshing» («Машинне навчання гідродинамічних моделей редукованого порядку нелінійного резонансного коливання рідини в баках») подану на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 11 Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика

Застосовуючи так звану концепцію прихованої фізики, ця дисертація вперше в літературі розвиває підхід машинного навчання до відновлення нелінійних членів демпфування в асимптотичних нелінійних модальних системах типу Наріманова-Моїсеєва, використовуючи обмежений набір експериментальних даних про фазові зсуви. Основна увага приділяється вертикальним резервуарам прямокутної (двовимірні хвилі) та круглої геометрії (тривимірні хвилі), а також поздовжнім збудженням найнижчої власної частоти коливання рідини, випадкам, для яких існують вищезгадані експериментальні дані.

Основними результатами, що визначають наукову новизну дисертації та виносяться на її захист, є наступні:

1. Вперше систематичне досліджено та встановлено як враховувати ефект нелінійного в'язкого демпфування в теорії нелінійного мультимодального хлюпання рідини в баках: На відміну від попередніх підходів, які спиралися на припущення щодо лінійного характеру демпфування, ця робота аналізує випадок, коли члени демпфування нелінійно залежать від узагальнених гідродинамічних координат та їх похідних, що більш точно відображає складні дисипативні механізми резонансного хлюпання.
2. Запропоновано нова методологія машинного навчання для визначення коефіцієнтів демпфування: Розроблено новий теоретичний підхід

машинного навчання, який базується на фізиці явища в'язкого демпфування для розв'язання коефіцієнтної оберненої задачі й обчислення коефіцієнтів демпфування, виходячи із обмеженої кількості експериментальних даних, що встановлює зв'язок, керований експериментальними даними, між теорією нев'язкого потенційного руху рідини та в'язкою реальністю.

3. Запропоновано адаптивні асимптотичні модальні рівняння, які враховують дисипацію в системі: Виведено нові асимптотичні співвідношення третього порядку, які точно описують взаємодію узагальнених гідродинамічних координат для кругової хвилі розширюючи теорію Наріманова-Моїсеєва до врахування в'язких феноменів.
4. Кількісна перевірка явищ фазового зсуву: Розроблена теорія успішно описує зсув фаз між гармонічним збудженням резервуара та усталеною хвилею, зсуву фаз, який є критичним параметром для резонансних явищ, але ігнорувався попередніми теоретичними гідродинамічними моделями.

Загалом, дисертація розв'язує кілька відкритих проблем щодо ролі ефектів в'язкого демпфування та розробляє нові процедури машинного навчання для відновлення членів в'язкого демпфування в нелінійних асимптотичних модельних рівняннях. Практичне значення поширюється на застосування в аерокосмічній інженерії, де точне прогнозування навантажень від хлюпання рідини має вирішальне значення для проектування паливних баків, безпеки морських перевезень та рідинних демпферів для контролю вібрації конструкцій. Розроблена методологія забезпечує систематичну основу для включення експериментальних даних у теоретичні моделі за допомогою машинного навчання, пропонуючи покращені можливості прогнозування для інженерного проектування у випадках, коли традиційні підходи стикаються з обчислювальними або моделюючими проблемами.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 5 наукових працях. Одна з них у виданнях квартиля Q1 (відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank) прирівнюється до двох публікацій. Ще одна з них у виданнях квартиля Q3 (відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank). Дві роботи - тези доповідей на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях та семінарах.

1. Milyaev A.O., Timokha A.N. Learning the single-dominant model system on resonant sloshing in a rectangular tank. Доповіді Національної Академії Наук України, № 6 (2022), 46-53, <https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.06.046> (Фаховий журнал категорії Б).

2. Miliaiev A.O., Timokha A.N. Viscous damping of steady-state resonant sloshing in a clean rectangular tank. *Journal of Fluid Mechanics*, **965**, R1 (2023), 11 pp. <https://doi.org/10.1017/jfm.2023.372> (Scopus Q1, WoS Q1, SJR Q1).
3. Miliaiev A.O., Timokha A.N. Damping of the swirling wave mode. *Нелінійні коливання*, **27**, № 4 (2024), 517--528, <https://doi.org/10.3842/nosc.v27i4.1494> (Фаховий журнал категорії А) Перевидано за кордоном: Miliaiev A.O., Timokha A.N. Damping of the swirling wave mode. *Journal of Mathematical Sciences (USA)*, **295**, № 6 (2025), 726-738, <http://doi.org/10.1007/s10958-026-08219-3> (Scopus Q3, SJR Q3).
4. Miliaiev A., Timokha A. Machine learning approach for studying damped resonant sloshing. VIII міжнародна наукова конференція «СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕХАНІКИ». Київ, 28-29 серпня 2025 року. Тези доповідей, сторінка 63. http://tamd.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2025/08/ABSTRACTS_MPM_2025.pdf
5. Miliaiev A.O., Timokha A.N. Differential equations of damped resonant sloshing. XX Міжнародна наукова конференція імені академіка Михайла Кравчука. 17-20 листопада 2025 р., Тези доповідей, сторінка 83, <https://matan.kpi.ua/media/2025/kravchuk-conf-2025/kravchuk-conf-2025-abstracts.pdf>

Основні результати дисертації доповідалися й обговорювалися на:

- Семінарі відділу математичних проблем механіки та теорії керування Інституту математики НАН України (Київ, 2020-2026 роки).
- Bogolyubov Kyiv Conference "Problems of Theoretical and Mathematical Physics" dedicated to the 115th anniversary of MM Bogolyubov (1909--1992), September 24-26, 2024, Kyiv, Ukraine.
- VIII Міжнародній науковій конференції «СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕХАНІКИ». Київ, 28-29 серпня 2025 року
- XX Міжнародній науковій конференції імені академіка Михайла Кравчука. 17--20 листопада 2025 р.

Дисертаційне дослідження Міляєва Антона Олександровича є завершеною роботою. Усі результати нові, отримані дисертантом самостійно, задовольняють вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 та можуть бути представлені до захисту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 11 Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Семінар відділу математичних проблем механіки та теорії керування рекомендує Вченій раді Інституту математики НАН України прийняти дисертаційну роботу А.О. Міляєва «Machine learning of hydrodynamic reduced

order models on nonlinear resonant liquid sloshing» («Машинне навчання гідродинамічних моделей редукованого порядку нелінійного резонансного коливання рідини в баках») до захисту на здобуття ступеня доктора філософії та утворити разову спеціалізовану вчену раду з правом прийняття до розгляду та проведення разового захисту на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Завідувач відділу математичних проблем
механіки та теорії керування
член-кореспондент НАН України,
доктор фізико-математичних наук
професор



Олексій МАЗКО

Секретар семінару відділу
Старший науковий співробітник,
кандидат фізико-математичних наук
старший науковий співробітник



Олександр СОЛОДУН