

ОГЛЯД ВІДКРИТТЯ ЗВОРОТНОГО РУХУ РОЛИКІВ У В'ЯЗКОЕЛАСТИЧНИХ РІДИНАХ ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ МІКРОМЕХАНІКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проаналізовано явище зворотного руху роликів у в'язкоеластичних, тобто проявляють як в'язкісні, так і еластичні (пружні) характеристики під дією деформацій, [1] середовищах. Показано, що за певних умов ролики, занурені у рідину з пружними властивостями, можуть переміщуватися у напрямку, протилежному прикладеній силі. Основна увага приділена механізмам, які визначають особливий розподіл сил у потоці та формують нову динаміку руху.

Ключові слова: в'язкоеластичні рідини, ролики, зворотне ковзання, мікромеханіка

Abstract

The study analyzes the phenomenon of reverse rolling motion in viscoelastic fluids. It demonstrates that under specific conditions, rollers immersed in elastic liquids can move in the direction opposite to the applied force. The focus is placed on mechanisms that govern the unique redistribution of forces in the flow and define a new type of motion dynamics.

Keywords: viscoelastic fluids, rollers, backward sliding, micromechanics

Вступ

Проаналізовано дослідження Chengyu He, Yateng Qiao, Yu Cao, Boqi Liu, Zijie Qu, Gaojin Li та Xin Cao (2026), опубліковане у журналі *Nature Communications* [2], у якому описано унікальне явище зворотного руху роликів у в'язкоеластичних середовищах. Автори показали, що за певних умов ролики, занурені у рідину з пружними властивостями, здатні переміщуватися у напрямку, протилежному прикладеній силі. Основна увага приділена механізмам, що визначають особливий розподіл сил у потоці.

Основна частина

Виявлено, що під час деформації полімерних ланцюгів у рідині виникає еластичне напруження, яке накопичується та змінює баланс сил у зоні контакту. Це призводить до формування результуючої дії, спрямованої проти очікуваного руху ролика. Такий ефект неможливо пояснити класичними моделями ньютонівських рідин, адже саме пружні характеристики середовища визначають нову динаміку.

Здобуті дані мають важливе значення для подальшого аналізу взаємодії мікрооб'єктів із рідинами, що поєднують в'язкі та еластичні властивості. У роботі авторів основна увага приділена механізму, який пояснює явище зворотного ковзання роликів. Вирішальну роль відіграє особливий розподіл сил у потоці, що виникає внаслідок деформації полімерних ланцюгів. Саме ця специфіка середовища формує силу, спрямовану проти прикладеного руху.

Для кількісного опису явища використано число Вайсенберга (Wi) [3], яке визначає співвідношення між еластичними та в'язкими ефектами у потоці, що знаходиться за формулою (1):

$$Wi = \lambda \cdot \gamma \quad (1)$$

де λ — час релаксації полімерних структур у рідині, с;

γ — швидкість зсуву, s^{-1} .

При малих значеннях Wi поведінка рідини наближається до ньютонівської, і ролик рухається у напрямку, що відповідає його обертанню. Проте зі збільшенням Wi еластичні ефекти стають

домінуючими: полімерні ланцюги не встигають релаксувати, накопичується еластичне напруження- і виникає асиметрія потоку. Саме у цьому режимі спостерігається зворотне ковзання ролика.

Зворотне ковзання роликів пояснюється особливим механізмом перерозподілу сил у потоці. Під час деформації полімерних ланцюгів у рідині виникає еластичне напруження, яке накопичується та змінює рівновагу сил у зоні контакту. У результаті формується результуюча дія, спрямована проти очікуваного руху.

Висновки

Отримані висновки демонструють значний потенціал для використання у мікромеханіці та біоінженерії. Виявлене явище зворотного ковзання роликів у в'язкоеластичних [1] середовищах може стати основою для створення мікроскопічних зубчастих систем, здатних передавати рух від колоїдних частинок до більших об'єктів. У цьому контексті відкривається можливість розробки нових типів мікроплавців (мікроскопічний об'єкт, здатний рухатися у рідкому середовищі), [4] які ефективно функціонують у складних біологічних рідинах та можуть застосовуватися для точної доставки лікарських препаратів, транспортування наночастинок і керування мікророботами у медичних технологіях. Додатково явище притягання ролика до поверхні створює передумови для формування мікромасштабних актуаторів (перетворювачів енергії у механічний рух), [5] що відкриває перспективи у сфері активної матерії та розробки нових матеріалів із заданими властивостями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. В'язкоеластичність [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%27%D1%8F%D0%B7%D0%BA%D0%BE%D0%B5%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C> (дата звернення: 01.03.2026).
2. He C., Qiao Y., Cao Y., Liu B., Qu Z., Li G., Cao X. Reverse rolling motion in viscoelastic fluids // *Nature Communications*. – 2026. – Vol. 15. – Article number: 69523. – Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/s41467-026-69523-9> (дата звернення: 01.03.2026).
3. Weissenberg number [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Weissenberg_number (дата звернення: 01.03.2026).
4. Microswimmer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microswimmer> (дата звернення: 01.03.2026).
5. Лінійні актуатори – невидимі герої підйомних систем [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.aoke.com.ua/bez-katehorii/linijni-aktuatory-nevydymi-geroyi-pidjomnyh-system/> (дата звернення: 01.03.2026).

*Заболотний Олександр Іванович студент групи 2ПІ-25Б, Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.
E-mail: zoleksandr06@gmail.com*

Науковий керівник: Мартинюк Володимир Валерійович кандидат технічних наук, доцент, Кафедра загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Zabolotnyi Oleksandr Ivanovych, Faculty of Information Technology and Computer Engineering
Supervisor: Martyniuk Volodymyr Valeriiovych PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine.*