

Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца при движении графеновой пленки на границе углеводород-наножидкость

Шабиев Ф.К.^{1,2}, Пахаруков Ю.В.², Шабиева А.В.³, Шаталов А.В.¹, Сафаргалиев Р.Ф.²

ruslan.safargaliev@mail.ru

¹ ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» (ТюмГУ), Тюмень, Россия

² ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (ТИУ), Тюмень, Россия

³ ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» (ТМУ), Тюмень, Россия

Актуальность исследования гидродинамической устойчивости двумерных материалов на границах раздела жидкостей обусловлена стремительным развитием нанотехнологий [1]. При относительном движении фаз возникает ряд неустойчивостей, среди которых ключевую роль играет неустойчивость Кельвина-Гельмгольца [2]. Благодаря данной неустойчивости удалось создать гофрированные поверхности покрытые многослойными графеновыми чешуйками [3].

В данной работе анализируются условия возникновения неустойчивости Кельвина-Гельмгольца при движении наножидкости в пористой среде, заполненной углеводородом. В качестве модели пористой среды используется плоская ячейка Хеле-Шоу. Одна из пластин ячейки Хеле-Шоу съёмная и выполнена из пластинки монокристалла кремния. На первом этапе эксперимента ячейка заполнялась парафином в жидком состоянии, далее заполнялась наножидкостью на основе многослойных графеновых чешуек на водной основе определенной концентрации. После выдержки системы в термостате при температуре 56°C и получения плёнки, система подвергалась вытеснению, где наножидкость вытесняет парафин. При достижении парафина края ячейки система подвергалась охлаждению до температуры 40°C. Затем после окончания эксперимента по вытеснению система доводилась до комнатной температуры. Далее пластинка из монокристалла кремния извлекалась и изучалась при помощи атомно-силовой микроскопии полуконтактным методом с использованием АСМ микроскопа Ntegra Aura (NT-MDT).

В результате показано, что в процессе движения плёнки относительно подложки образуются гофрированные поверхности, ускоряющие движения флюидов. Появление неустойчивостей и длины волны неустойчивости зависит от концентрации графеновых частиц и скорости движения флюидов. Анализ дисперсионного уравнения показывает, что критическим является безразмерное капиллярное число и безразмерное число, определяемое отношением сил Ван-дер-Ваальса и капиллярными силами. Таким образом, управление неустойчивостью Кельвина-Гельмгольца в системе «плёнка-углеводород-наножидкость» открывает возможности для создания адаптивных смазочных материалов с контролируемым рельефом поверхности трения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-71-00047, <https://rscf.ru/project/25-71-00047/>.

Ссылки

1. Cui, Y., Gao, L., Ying, C., Tian, J., Liu, Z. ACS nano, (2025), **19**(2), 1911.
2. Пахаруков Ю. В., Шабиев Ф.К., Мавринский В. В., Сафаргалиев Р. Ф., Воронин В. В., Письма в ЖЭТФ, (2019), **109**(9), 634.
3. Ю.В. Пахаруков, Ф.К. Шабиев, Р.Ф. Сафаргалиев, А.В. Шабиева, ПМТФ, (2022), **63**, 116.