ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/4

МНОГОМАСШТАБНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАСТИЧЕСКИХ СДВИГОВ КАК МЕХАНИЗМ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Наймарк О.Б., Уваров С.В., Банникова И.А., Ефремов Д.В.
Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, Россия

Экспериментально наблюдаемая универсальность статистики флуктуаций в полностью развитом турбулентном сдвиговом течении в замкнутом объеме [1] связывается с динамикой коллективных мод «локализованных сдвигов» при структурно-скейлинговых переходах – новым классом критических явлений в мезоскопических системах с дефектами [2,3,4]. Статистическая автомодельность проявляется в универсальности функции распределения флуктуаций мощности, измеряемой на вращающихся дисках, в пределах четырех порядков чисел Рейнольдса в области значений последних, соответствующих развитой турбулентности (инерционный интервал с наклоном $-5/3$). Универсальность функции распределения флуктуаций соответствует режиму резкого падения мощности, инжектируемой в поток, и связывается с генерацией когерентных структур на масштабах, близких к интегральному масштабу системы.

Рис. 1. а: Деформационная диаграмма наклонных цилиндрических образцов сплава АМг6 при осадке с постоянной скоростью 4 мкм/с. б: Зависимость интервалов времени между конечно-амплитудными флуктуациями напряжения течения.

Аналогичные признаки когерентного поведения установлены в [5] при пластическом течении сплава, обнаруживающего эффект Портевена-Ле Шателье. Автомодельная динамика множественных мод локализованной пластичности обеспечивает универсальность статистики флуктуаций и когерентность поведения рассматриваемых критических систем на макроскопических масштабах. Множественная неустойчивость проявляется в зарождении зон локализованной пластической деформации с типичной шириной 10-100 нм, каждая из которых связана с падением напряжения течения. Закономерности критичности исследуются на основе анализа деформационных диаграмм при осадке наклонных цилиндрических образцов сплава АМг6 с постоянной скоростью 4 мкм/с (рис. 1а). Установлено, что время «ожидания» между событиями (рис. 1б) демонстрирует степенные зависимости вида $\tau = A_1(\varepsilon - \varepsilon_{c1})^{-\beta_1}$ и $\tau = A_2(\varepsilon_{c2} - \varepsilon)^{-\beta_2}$ в окрестности двух значений макроскопических деформаций ε_{c1} и ε_{c2} . Значение ε_{c1} соответствует начальной стадии развития конечно-амплитудных флуктуаций в условиях локализации пластической деформации. Переход через вторую «критическую точку» ε_{c2} обнаруживает развитие флуктуаций с качественно-новой пространственно-временной динамикой, которая может быть ассоциирована с формированием областей локализации поврежденности, предшествующих макроскопическому разрушению [6]. По аналогии с теорией критических явлений значения ε_{c1} и ε_{c2} могут рассматриваться как аналоги критических точек, в окрестности которых наблюдается резкое увеличение характерных времен структурной «релаксации» [5]. Закономерности критичности в развитии пластической деформации, соответствующие степенной зависимости времен структурной релаксации в окрестности ε_{c1} , и статистическая

автомодельность флуктуаций мощности в условиях развитого турбулентного течения по схеме Кармана, явились основой для сравнительного экспериментального анализа формирования волновых фронтов в твердых телах и жидкостях. Экспериментальные данные по регистрации волновых фронтов в жидкостях, инициируемых электровзрывом проводника (Рис.2), позволили установить степенную универсальность скорости деформации, аналогичную пластическим волновым фронтам в металлах. Степенная универсальность волнового фронта в жидкостях отражает «подчинение» релаксационной кинетики спектру коллективных мод «локализованного» пластического сдвига (в пределе – одной автоволновой моде при соответствующей ширине волнового фронта или амплитуде нагрузке), реализующих качественно иной механизм переноса импульса в жидкостях – локализованные пластические сдвиги.

Рис. 2. а: Схема эксперимента по измерению скорости ударно-волнового (УВ) фронта системой VISAR. б: Зависимость скорости деформации от амплитуды импульса сжатия (дистиллированная вода) [6].

Физические механизмы, приводящие к развитию турбулентности, указывают на возможность описания неустойчивостей в жидкостях на основе анализа кинетики флуктуаций, если последние рассматриваются как локализованные моды пластической неустойчивости (сдвига) в структуре жидкостей. Локализованные сдвиги, являясь мезоскопическими объектами, могут рассматриваться как структурные дефекты в жидкостях при возникновении коллективных движений групп молекул друг относительно друга. Этот механизм движения не соответствует традиционно рассматриваемому для жидкостей (по аналогии с газами) диффузионному механизму переноса импульса. Формирование когерентных структур в условиях развитой турбулентности в жидкостях, неустойчивого пластического течения (эффект Портевена-Ле Шателье), универсальных (степенных) волновых фронтов позволяет обосновать предположение о механизме турбулентности в жидкости вследствие могомасштабного взаимодействия локализованных сдвигов.

Исследования поддержаны РФФИ (проект **17-01-000867а**)

Литература

1. Bramwell, S.T., Holdsworth, P.C.W., and Pinton, J.-F., Universality of Rare Fluctuations in Turbulence and Critical Phenomena // *Nature*. 1998.V. 396. № 10. pp. 552–554.
2. Наймарк О.Б. Неустойчивости в конденсированных средах, обусловленные дефектами // *Письма в ЖЭТФ*. 1998. Т.67. №9. С. 714-721.
3. Наймарк О.Б. Неравновесные структурные переходы как механизм турбулентности // *Письма в ЖТФ*. 1997. Т.23. № 13. С.81-87.
4. Naimark O.B. Defect Induced Transitions as Mechanisms of Plasticity and Failure in Multifield Continua // In: *Advances in Multifield Theories of Continua with Substructure*, Ed. G. Capriz and P. Mariano, Birkhäuser, Boston. 2004. P.75-114.
5. Naimark O.B., Some Regularities of Scaling in Plasticity, Failure and Turbulence // *Physical Mesomechanics*. 2016.V.19. №3. pp.307-319.
6. Bannikova I. A., Uvarov S. V., Bayandin Yu. V., Naimark O. B. An experimental study of non-Newtonian properties of water under electroexplosive loading // *Technical Physics Letters*. 2014. V. 40, №. 9. pp. 766–768.