

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский государственный университет»
Обособленное структурное подразделение
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ
МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ
ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА
(НИИ ПММ ТГУ)

пр. Ленина, 36, стр. 27, г. Томск, 634050, Россия
Тел./Факс: (3822) 529-547
E mail: niipmm@niipmm.tsu.ru

На 16.09.2025 № 221
от _____

Ученому секретарю диссертационного
совета «Пермского федерального
исследовательского центра Уральского
отделения Российской академии наук
(филиал – Институт механики
сплошных сред УрО РАН)»,
доктору физико-математических наук,
доценту
А.Л. Зуеву

614013, г. Пермь, ул. Академика
Королёва, 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Ефремова Дениса Викторовича
на тему: «Экспериментальное исследование механизмов переноса импульса в
структурированных сплошных средах», представленной на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела

В работе экспериментально исследуются закономерности механизмов
деформации и переноса импульса в структурированных сплошных средах,
обусловленные коллективными свойствами ансамблей дефектов сдвига.

На роль дефектов и возможность «псевдопластических» механизмов в
сплошных средах впервые было обращено внимание в работах Я.И. Френкеля,
в которых отмечалась общность механизмов переноса импульса
конденсированных средах. Экспериментально установленная в работах А.Д.
Сахарова с сотрудниками универсальная асимптотика вязкости
конденсированных сред при скоростях деформации $\sim 10^5 \text{ с}^{-1}$ связывалась с
возможностью «дислокационных механизмов» переноса импульса.
Исследованиями Б.В. Дерягина с сотрудниками было показано, что данные
механизмы реализуются в эксперименте при инициировании сдвиговых
деформаций в жидкостях резонансным методом, при проявлениях сдвиговой
упругости при частотах воздействия $10^5 \div 10^6$ Гц. В развитие указанных работ
в лаборатории Физических основ прочности ИМСС УрО РАН проведены
экспериментальные исследования по ударно-волновому нагружению
сплошных сред методом электрического взрыва проводника, и установлен

псевдопластический механизм переноса импульса в диапазоне скоростей деформации $\sim 10^5 \div 10^7 \text{ с}^{-1}$.

Я.И. Френкелем было введено время $\tau_F \sim 10^{-5}$, характеризующее акты коллективного движения групп молекул (сдвиговые моды) при частотах ω_F :

$$\omega > \omega_F = 1/\tau_F,$$

Для реализации такого механизма, в отличие от традиционного диффузионного, определяемого kT , необходимы флуктуации, порождаемые акустическими модами при наличии сдвиговой упругости, что впервые экспериментально установлено в работах Б.В. Дерягина.

В работах С.В. Стебновского установлено, что полярные среды (вода, глицерин, ацетон, этиловый спирт) в определённом диапазоне температур и при слабых сдвиговых воздействиях имеют упорядоченную структуру и проявляют неньютоновские свойства. С увеличением скорости сдвига упорядоченная структура нарушается и среды демонстрируют традиционное ньютоновское поведение. Аналогичное явление наблюдается в структурированных растворах полимеров, проявляющих псевдопластические (неньютоновские) свойства, когда с ростом скорости деформации упорядоченная структура разрушается, что проявляется в виде уменьшения вязкости жидкости с ростом скорости деформации.

Качественные изменения механизма переноса импульса в интенсивных сдвиговых потоках и диссипативных свойств сред наблюдаются в экспериментах по регистрации явления гидролюминесценции в диапазоне скоростей деформации $\sim 10^5 \div 10^6 \text{ с}^{-1}$. Резкий рост интенсивности гидролюминесценции свидетельствует о качественном изменении механизмов переноса импульса и может быть ассоциирован с коллективными сдвигами в ансамблях молекул, эффектами сдвиговой упругости и формированием мезоскопических носителей, определяющих псевдопластические закономерности течения.

В связи с этим весьма актуальной является тема диссертационной работы Ефремова Д. В., цель которой - экспериментальное обоснование механизмов переноса импульса в структурированных сплошных средах, обусловленных коллективными свойствами локализованных сдвигов. Экспериментально исследуются твёрдые тела (алюминий-магниевого сплава АМг6) и структурированные среды (глицерин; среды, применяемые в технологии гидроразрыва пласта на основе гуара и сурфогеля, гидравлическое масло) в широком диапазоне скоростей деформации для изучения связи механизмов деформации с коллективными явлениями в ансамблях локализованных сдвигов.

Достижение поставленной цели обеспечено решением задач, сформулированных автором.

Основными научными результатами, полученными автором и отражающими их научную новизну, являются:

- исследования кинетических и термодинамических закономерностей развитого пластического течения в условиях проявления эффекта Портевена-Ле Шателье позволили обосновать существование двух критических точек, характеризующих качественно-различную динамику пространственно-временной локализации пластического течения, обусловленные коллективными свойствами дефектов сдвига;

- установление статистической автомодельности пространственно-временной динамики флуктуаций напряжений пластического течения в сплаве АМгб, позволившее обосновать предположение об универсальности механизма переноса импульса в структурированных сплошных средах по механизму псевдопластического сдвига;

- установление универсальной степенной зависимости вязкости в структурированных сплошных средах в широком диапазоне интенсивностей нагружения с величиной показателя, характерного для псевдопластического течения, обусловленного множественными дефектами сдвига;

- установление существования порогового значения скорости деформации $10^5 \div 10^6 \text{ с}^{-1}$, соответствующего возникновению эффектов гидро- и сонолюминесценции. По данным статистических распределений сигналов, полученных с фотоумножителя, обосновано предположение, что явление гидролюминесценции вызвано формированием множественных локализованных сдвигов в структурированных сплошных средах.

Практическая значимость работы заключается:

- в разработанной новой экспериментальной методике, позволяющей выявить качественно новые закономерности локализации пластической деформации и подтвердить существование двух критических точек в условиях проявления эффекта Портевена-Ле Шателье;

- в предложении объяснения механизма пластической деформации в присутствии двух критических точек с использованием калориметрических измерений, подтвердивших стадийность развития деформации локализованным сдвигом и переход к формированию очагов разрушения;

- в доказанной необходимости учета множественных локализованных сдвигов в структурированных сплошных средах и их роли в механизмах переноса импульса в соответствующих диапазонах скоростей деформирования;

– в выведенных на основе оригинальных экспериментальных данных новых трактовках явления гидрOLUMИНЕСЦЕНЦИИ при интенсивных течениях структурированных сред в условиях инициирования множественных локализованных сдвигов;

– в обосновании методических рекомендаций для разработки программно-аппаратных комплексов для оценки условий инициирования кавитационных режимов по данным гидро- и сонолюминесценции.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечена применением современной измерительной аппаратуры, апробированных экспериментальных методик, высокой степенью воспроизводимости экспериментальных данных. Полученные результаты согласуются с литературными данными, теоретическими и экспериментальными результатами других исследователей.

В качестве замечания следует отметить, что эксперименты по исследованию явлений гидро- и сонолюминесценции в средах проводились на гидравлическом масле MOBIL DTE-25. Не ясно, чем обоснован выбор данного гидравлического масла для проведения исследований.

Указанное замечание, однако не снижает значимости полученных автором результатов.

По актуальности, научной новизне и практической значимости диссертационная работа Ефремова Дениса Викторовича удовлетворяет требованиям п.9, раздел 2 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а его автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

Директор НИИ ПММ ТГУ, доктор физико-математических наук, член кор. РАН


Ищенко Александр Николаевич

Научный сотрудник НИИ ПММ ТГУ


Саммель Антон Юрьевич

«16» сентября 2025 года

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Томского государственного университета.

Почтовый адрес: 634050 г. Томск, пр. Ленина, 36, стр. 27,

Тел./Факс: (3822) 529-547, E mail: niipmm@niipmm.tsu.ru

