

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию **Нечаева Артема Тимуровича** «Исследование
нестационарных течений, возникающих при проникании через свободную
границу тонких свободных или затопленных струй жидкости»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и
плазмы»

Диссертация Нечаева Артема Тимуровича посвящена детальному изучению особенностей взаимодействия свободных и затопленных струй со свободной поверхностью покоящейся жидкости. Выбранная тема исследований является актуальной в силу широкого распространения струйных течений жидкости в природе и технике. Результаты исследований представляют несомненный интерес для различных технологических процессов, связанных с эжектирующей способностью струй.

Диссертантом экспериментально рассмотрены малоисследованные эффекты возникновения автоколебательных режимов при взаимодействии плоских или осесимметричных свободных струй с поверхностью жидкости и при фонтанировании плоских затопленных струй. Используемая в исследованиях постановка эксперимента представляет интерес, как для фундаментальной, так и для прикладной гидродинамики.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы, состоящего из 190 источников.

Во *Введении* обосновывается актуальность темы исследований, степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и значимость работы, перечислены положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации результатов и информация о структуре работы.

Первая глава диссертации посвящена экспериментальному изучению проникания свободных вертикальных струй через поверхность жидкости в

относительно узких каналах. Описывается проникание через свободную поверхность одиночных плоских и осесимметричных струй. Обнаружен автоколебательный режим перемещения затопленного участка струи и облака эжектированных пузырей. Описан механизм возникновения таких режимов и получены зависимости безразмерного периода автоколебаний от числа Фруда. Исследовано влияние протяженности каналов на значения скорости струи, определяющие регулярные автоколебания. По результатам опытов с двумя вертикальными плоскими струями проведена классификация режимов взаимодействия затопленных участков струй. Для регулярных автоколебаний построена зависимость безразмерного периода от относительного расстояния между струями.

Вторая глава диссертации посвящена экспериментальному и численному изучению взаимодействия затопленных вертикальных струй со свободной поверхностью жидкости. Для осесимметричных струй в узких каналах экспериментально определены условия возникновения регулярных автоколебаний затопленного фонтана и построены зависимости безразмерного периода автоколебаний от числа Фруда. Проведено численное моделирование фонтанирующей струи для канала конечной и бесконечной протяженности. Исследовано влияние геометрии сопла и его заглубления. Приведены результаты численного и экспериментального исследования взаимодействия двух затопленных плоских струй при их проникании через поверхность жидкости. Режимы течений классифицированы в зависимости от начальной скорости струй и расстояния между ними.

Третья глава посвящена экспериментальному и численному исследованию взаимодействия наклонных свободных и затопленных струй с поверхностью жидкости. Рассмотрена задача о проникании свободных струй из клиновидного сопла. Обнаружены регулярные автоколебательные режимы перемещения границ свободных струй и их затопленных участков. Описаны результаты экспериментов с наклонной затопленной струей, согласно

которым существование автоколебательных режимов определяется углом наклона струи и глубиной расположения сопла. Предложен способ опорожнения сосуда с наклонной боковой стенкой, вдоль которой подается струя жидкости. По результатам численного моделирования получены зависимости времени опорожнения сосуда от скорости и толщины струи, а также от объема жидкости в канале.

В *Заключении* сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Таким образом, диссертация состоит из трех логических частей, связанных воедино гидродинамической проблемой струйных течений жидкости. Диссертационная работа представляет собой цельное и завершенное исследование, выполненное на высоком научном уровне.

Все декларированные в диссертации результаты являются новыми. Достоверность результатов подтверждается данными прямых наблюдений и верификацией численных моделей, базирующихся на основных уравнениях гидродинамики.

В качестве наиболее важных результатов диссертации можно отметить следующие положения.

1. Экспериментальная реализация режимов регулярных автоколебаний свободных и затопленных струй при взаимодействии со свободной поверхностью жидкости в канале. Рассмотренные в диссертации автоколебания можно отнести к красивому гидродинамическому эффекту, а представленные в работе опытные данные, несомненно, будут способствовать построению строгих математических моделей струйных течений.

2. Исследование процесса взаимодействия двух вертикальных плоских свободных струй и классификация наблюдаемых автоколебаний затопленных газонасыщенных участков струй.

3. Исследование процесса взаимодействия двух затопленных плоских струй и классификация наблюдаемых регулярных автоколебаний.

Диссертация написана ясным и доступным языком, результаты изложены понятно. К возможным недостаткам работы можно отнести следующее.

1. Во введении приведен прекрасный обзор предыдущих исследований по тематике диссертации, но почему-то отсутствуют ссылки на следующие работы:

[1] Денщикова В.А., Кондратьев В.Н., Ромашов А.Н. О взаимодействии двух встречных струй // Изв. АН СССР. МЖГ. 1978. № 6. С. 165-167.

[2] Денщикова В.А., Кондратьев В.Н., Ромашов А.Н., Чубаров В.М. Автоколебания плоских встречных струй // Изв. АН СССР. МЖГ. 1983. № 3. С. 148-150.

[3] Bouchet G., Climent E., Maurel A. Instability of a confined jet impinging on a water/air free surface // EPL (Europhysics Letters). 2002. V. 59. No. 6. P. 827–833.

Если в [1, 2] экспериментально исследовались автоколебания двух затопленных взаимодействующих струй, то в [3] – автоколебания одиночной фонтанирующей струи. Поскольку эксперименты [1–2] по постановке весьма близки к опытам, описываемым в диссертации, интересно провести сравнение опубликованных и представленных в диссертации результатов.

2. Объектом исследования в работе являются струи – свободные или затопленные. В первом случае струя из расположенного на

некоторой высоте сопла взаимодействует со свободной поверхностью покоящейся жидкости, во втором – струя из сопла на дне канала образует «фонтан» на свободной поверхности. Какая часть свободной струи соударяется со свободной поверхностью, сохраняется ли сплошность струйного потока перед ударом, или она является раздробленной из-за захвата воздуха? В случае затопленной струи – какова ее структура вблизи свободной поверхности? Эти вопросы не возникли бы, если в работе привести фотографии (контрастные, с малой экспозицией, при использовании вспышки) свободной и затопленной струй вблизи свободной поверхности.

3. В главе 1 в качестве определяющего параметра используется число Фруда, определяемое как $Fr = V / \sqrt{gh}$, где V – скорость струи, $g = \text{const}$ – ускорение силы тяжести и $h = \text{const}$ – поперечный размер канала. Вместо такой безразмерной скорости в качестве пространственного масштаба целесообразнее использовать величину заглупления струи или вертикальный размер двухфазной области вблизи струи.
4. Замечание по оформлению Списка литературы. Рассматриваемая диссертация – русскоязычное издание, представляемое в ВАК РФ, но в списке литературы ссылки на работы [19, 21, 23, 25], первоначально опубликованные в русскоязычных журналах, почему-то приведены на переводные версии. Кроме того, в ссылках на работы [132, 186] не указан год издания журнала.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации

соответствует специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» (по Естественным наукам), а именно следующим ее направлениям: п. 7. Течения многофазных сред (газожидкостные потоки, пузырьковые среды, газовзвеси, аэрозоли, суспензии и эмульсии); п. 13. Струйные течения и кавитация; п. 14. Гидродинамическая устойчивость.

Таким образом, соискатель Нечаев Артем Тимурович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник, Лаборатория механики сложных жидкостей,
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук

«Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук»

Калиниченко Владимир Анатольевич

06.10.2023

Контактные данные:

тел.: 7(917) 590-6409, e-mail: _vakalin@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы

Адрес места работы:

119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
лаборатория Механика сложных жидкостей
Тел.: +7-495-434-00-17; e-mail: ipm@ipmnet.ru

Подпись ведущего научного сотрудника ИПМех РАН
Калиниченко Владимира Анатольевича удостоверяю:

Ученый секретарь ИПМех РАН

Котов М.А.

