**ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН**
**СЕССИЯ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН ПО АКУСТИКЕ**
**ИКИ РАН, Москва**

---

https://iki.cosmos.ru/conference/2025/acoustics-2025

**DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17122787**

**Четверг 18 сентября 2025 г. (Конференц-зал)**

# Программа выездной сессии

**Председатель – профессор И.Б. Есипов**

**15.00–15.10. Открытие сессии** (вступительное слово – профессор А.С. Петросян).

**15.10–15.40. Попель С.И.,** Зеленый Л.М. Волновые процессы в плазме запыленных экзосфер космических объектов.

**15.40–16.00. Петросян А.С.** Крупномасштабные структуры в турбулентной жидкости с твердыми частицами и с пузырьками газа.

**16.00–16.20. Кудашев Е.Б.,** Яблоник Л.Р. Моделирование пространственного вейвлет–анализа пристеночных турбулентных пульсаций давления.

**16.20–16.40. Алтайский М.В.** Вейвлеты в квантовой теории поля и теории стохастических процессов.

**16.40–17.00. Копьев В.Ф.** Актуальные проблемы аэроакустики.

**17.00–17.15. Бычков О.П.,** Фараносов Г.А. Шум взаимодействия струи и крыла самолета.

**17.15–17.30.** Голубев А.Ю., **Кузнецов С.В.** Возмущения поля пристеночных пульсаций давления выступающими телами в турбулентном пограничном слое.

## 17.30 Закрытие сессии, фуршет.

## Тезисы докладов

# Вейвлеты в квантовой теории поля и теории стохастических процессов

**М.В. Алтайский**

*Институт космических исследований РАН, г. Москва*

Теория случайных процессов, описываемых стохастическими дифференциальными уравнениями вида $\hat{L}u(x,t) + V[u(x,t)] = f(x,t)$, где $\hat{L}$ – линейный дифференциальный оператор, $V$ – нелинейный оператор, $f$ – гауссова случайная сила, допускает теоретико-полевую формулировку в виде производящего функционала случайного поля $u(x,t)$: $Z[j(x,t)] = \int Du\, exp(-S[u] + \int dxdt\, ju)$, где "функционал действия" *S[u]* получается интегрированием уравнений поля *u* по гауссовой мере случайной силы *f*. Непосредственное вычисление *n*-точечных корреляционных функций $\langle u(x_1,t_1),\ldots,u(x_n,t_n)\rangle$ методами квантовой теории поля приводит к расходимостям, и требует перенормировки путем последовательного интегрирования флуктуаций от малых к большим масштабам. Эффективным методом, обеспечивающим получение конечных корреляционных функций является проектирование исследуемого поля *u* на базисные функции различных масштабов, осуществляемое с помощью непрерывного вейвлет-преобразования $u(x) \to u_a(b) = \int \frac{1}{a^d} g\left(\frac{x-b}{a}\right) u(x)dx$. При этом, если в квантовополевых задачах масштабируются все переменные, то в стохастических задачах, в т.ч., при описании турбулентности, время *t* является параметром и не подвергается масштабированию. Корреляционные функции масштабно-зависимых полей $\langle u_{a_1}(b_1),\ldots,u_{a_n}(b_1)\rangle$ получаются конечными по построению если интегрирование по внутренним линиям фейнмановских диаграмм проводить от масштаба измерения (микромасштаба) до размера системы (макромасштаба).

В качестве примера рассмотрена теория трехмерной гидродинамической турбулентности в вязкой несжимаемой жидкости, описываемая уравнениями Навье-Стокса со случайной силой в правой части. В однопетлевом приближении приводятся турбулентные поправки к вязкости и парному коррелятору поля скорости.

**Литература**

[1] M.V.Altaisky, Quantum field theory without divergences, P*hys. Rev. D* **81** (2010) 125003.

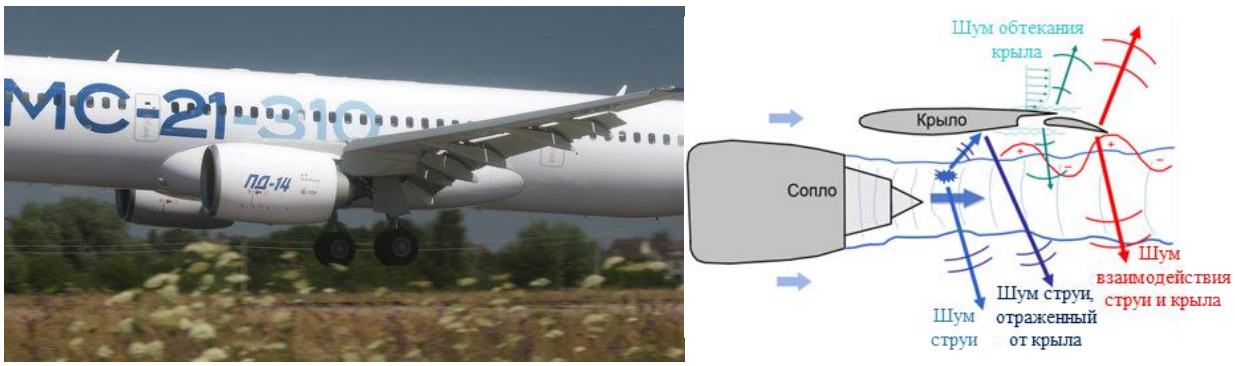
[2] M.V. Altaisky, M. Hnatich and N.E. Kaputkina, Renormalization of viscosity in wavelet-based model of turbulence, *Phys. Rev. E* **98** (2018) 033116.

# Шум взаимодействия струи и крыла самолета

**О.П. Бычков, Г.А. Фараносов**

*Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского*

Ужесточение норм международной организации гражданской авиации (ИКАО) по шуму самолета на местности приводит к необходимости исследования всех возможных источников шума самолета. Одним из основных источников шума самолета на местности, особенно на режиме взлета и набора высоты, является силовая установка, в шуме которой, в свою очередь, можно выделить две основных составляющих: шум вентилятора и шум истекающей из сопла двигателя турбулентной реактивной струи. Вместе с тем повышенный диаметр двигателей современной гражданской авиации вместе с необходимостью проведения аэродинамической оптимизации также приводит к тому, что силовая установка становится более интегрированной в планер (рисунок 1а), что сопровождается появлением новых источников шума взаимодействия, влиянием которых нельзя пренебрегать.




(а) (б)

**Рисунок 1.** Компоновка «двигатель под крылом»: (а) – пример современного самолета МС-21-310 с двигателями большой степени двухконтурности (источник https://ngs.ru/);
(б) схематичное представление основных источников шума системы «сопло-крыло».

Одним из значимых источников шума такого рода является взаимодействие струи и крыла самолета (рисунок 1.б). Данный эффект был замечен достаточно давно, но только к настоящему времени ввиду использования двигателей большой степени двухконтурности шум взаимодействия струи и крыла стал заметно проявлять себя в общем уровне шума самолета на местности.

Большое количество теоретических, экспериментальных и расчетных работ, проведенных в акустическом отделении ЦАГИ, позволило довольно подробно исследовать эффект низкочастотного усиления шума турбулентной струи при расположении её вблизи крыла самолета. Таким образом в докладе будут представлены основные результаты по исследованию шума взаимодействия струи и крыла самолета. Также будет затронут вопрос о возможности реализации активного/пассивного метода подавления данного источника шума.

# Возмущения поля пристеночных пульсаций давления выступающими телами в турбулентном пограничном слое

**А.Ю. Голубев, С.В. Кузнецов**

*Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского*

В докладе рассматриваются вопросы, связанные с пространственно-временной структурой полей пристеночных пульсаций давления, порождаемых в турбулентном пограничном слое отрывными течениями в окрестности выступающих тел, приводятся результаты экспериментальных исследований пульсаций давления на стенке в окрестности и на поверхности выступов различной формы.

Проведено обобщение полученных данных, на основании которого предложен метод моделирования спектральной плотности мощности пристеночных пульсаций давления в двумерных отрывных течениях в окрестности уступов. В рамках предложенного подхода учитываются различные источники нестационарных возмущений, а именно колебания зоны отрыва и неустойчивость слоя смешения.

Проведены параметрические исследования влияния трёхмерности осреднённого течения на поле пристеночных пульсаций давления в окрестности и на поверхности выступающих тел в турбулентном пограничном слое. Показано, что пространственный характер обтекания приводит к количественному (вплоть до 6 дБ), но не к качественному изменению спектров возмущений поля пристеночных пульсаций давления в окрестности геометрических неоднородностей.

Определены основные особенности локальной и глобальной пространственно-временной структуры возмущений нестационарного поля давления на стенке в турбулентном пограничном слое, создаваемых выступающими в поток телами. Показано, что за пределами областей возвратного течения пульсации давления обладают конвективными свойствами.

# Актуальные проблемы аэроакустики

**В.Ф. Копьев**

*ФАУ «ЦАГИ», Акустическое отделение, г. Москва*

Отечественная авиационная промышленность остро нуждается в разработке и применении надежных методов моделирования шума самолета и его элементов. Особенностью аэроакустических задач является то, что одним из основных аэродинамических источников звука является турбулентность, для которой до сих пор не имеется исчерпывающего описания. Поэтому, при построении математических и/или численных моделей аэроакустики принципиальным моментом становятся проблемы соответствия получаемых решений физической, математической или инженерной задаче.

Коротко рассматриваются основные задачи аэроакустики, которые на протяжении многих лет решаются в аэроакустическом центре ЦАГИ: шум турбулентных струй, шум взаимодействия струи и крыла, дифракция аэроакустических источников на элементах планера самолета, шум обтекания элементов планера (шасси и крыло), прохождение возмущений, возникающих в турбулентном пограничном слое, через панель фюзеляжа в салон, проблема оптимизации звукопоглощающих конструкций (ЗПК) в каналах двигателя, шум вертолетных и самолетных винтов. Для каждого направления проанализирован математический подход к задаче, дан анализ существующего численного инструментария и возможность валидации имеющихся вычислительных подходов.

Для валидации использованы уникальные возможности аэроакустической лаборатории ЦАГИ. Помимо постановки экспериментов с использованием экспериментальной базы ЦАГИ, для валидации использованы имеющиеся в ЦАГИ данные, полученные сотрудниками центра на самых известных крупномасштабных акустических установках мира (DNW NWB и DNW LLF, CARDC FL-17, NTF QinetiQ, DLR AWB), а также в акустическом летном эксперименте. Развитие российской гражданской авиации показало, что рассмотренные проблемы являются принципиально важными для современных самолетов.

# Моделирование пространственного вейвлет–анализа пристеночных турбулентных пульсаций давления

**Е.Б. Кудашев**[1], **Л.Р. Яблоник**[2]

[1]*Институт космических исследований РАН, г. Москва*
[2]*ЦКТИ им. Ползунова, г. Санкт-Петербург*

Выполнено численное исследованию скалярных волновых фильтров на основе двух или трёх приёмных элементов с различным распределением чувствительности. Рассмотрен вопрос выбора ширины полосы идеального фильтра, достаточной для разрешения компонент скалярного частотно-волнового спектра. Изучено влияние различного распределения чувствительности по радиусу приёмника давления на эффективность определения скалярного частотно-волнового спектра однородного поля пристеночных пульсаций давления турбулентного пограничного слоя. Показано, что разработанные методы фильтрации могут быть использованы для практической реализации пространственного вейвлет-анализа полей турбулентных пульсаций давления.

# Крупномасштабные структуры в турбулентной жидкости с твердыми частицами и с пузырьками газа

**А.С. Петросян**

*Институт космических исследований РАН, г. Москва*

Исследованы свойства спиральной турбулентности в гетерогенных средах. Показано, что в несжимаемой жидкости с твердыми частицами возможно усиление крупномасштабных вихревых возмущений исходно однородной, изотропной и спиральной турбулентностью. Наличие твердых частиц, движение которых обеспечивает ненулевую дивергенцию на пульсационном масштабе, тем самым обеспечивает ненулевые значения напряжений Рейнольдса в усредненных уравнениях. Найдена вихревая неустойчивость спиральной турбулентности в несжимаемой жидкости с осциллирующими пузырьками газа по отношению к крупномасштабным возмущениям. Показано, что колебания пузырька обеспечивает асимметрию напряжений Рейнольдса в усредненных уравнениях и появление генерационных членов. Обратим внимание, что получаемые в результате структуры имеют спиральный характер.

# Волновые процессы в плазме запыленных экзосфер космических объектов

**Попель С.И., Зеленый Л.М.**

*Институт космических исследований РАН, г. Москва*

Рассмотрены плазменно-пылевые системы в окрестностях объектов Солнечной системы, таких как Луна, Меркурий, спутники Марса – Фобос и Деймос, спутник Сатурна – Энцелад и т.д. Обсуждаются механизмы возбуждения в экзосферах ряда этих объектов пылевой звуковой, ионно-звуковой и нижнегибридной турбулентности. Показана возможность существования в ряде ситуаций пылевых звуковых солитонов и периодических нелинейных волн.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-12-00064, https://rscf.ru/project/24-12-00064/