

ВЕСТНИК НАУКИ

Сборник научных статей по материалам
Международной научно-практической конференции

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ
НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**



Издательство «НИЦ Вестник науки»

К-384-1



ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Сборник научных статей по материалам
II Международной научно-практической конференции

Часть 1

9 июня 2023 г.

Уфа 2023

УДК 001
ББК 72
Ф 97

Ф97 **Фундаментальные и прикладные научные исследования в современном мире / Сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции (9 июня 2023 г., г. Уфа). / В 3 ч. Ч.1 – Уфа: Изд. НИЦ Вестник науки, 2023. – 320 с.**

В сборнике представлены материалы II Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования в современном мире», где нашли свое отражение доклады студентов, магистрантов, аспирантов, преподавателей и научных сотрудников ВУЗов по химическим, техническим, экономическим, филологическим, медицинским и другим наукам. Материалы сборника актуальны для всех интересующихся перспективными и инновационными направлениям развития науки и техники и могут быть применены при выполнении научно-исследовательских работ, а также в преподавании соответствующих дисциплин.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за интерпретацию и изложение результатов научно-исследовательских работ, подбор и точность приведенных статистических данных, фактов, цитат, подлежащих открытой публикации.

Материалы размещены в сборнике в авторской правке.

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

УДК 001
ББК 72

© Корректурa и верстка ООО «НИЦ Вестник науки», 2023
© Коллектив авторов, 2023

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абросимов Андрей Андреевич, к.т.н., инженер каф. разработки и эксплуатации нефтяных месторождений, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

Улитова Анастасия Сергеевна, к.ф.н., н.с., отдел древнерусского языка, ИРЯ РАН.

Старчикова Маргарита Валерьевна, к.с.н., доцент, доцент кафедры социализации и развития личности, Алтайский институт Развития Образования им. А.М. Топорова.

Буй Ван Тиен, к.т.н., преподаватель, каф. динамика и управление движением ЛА, Технический университет им. Лэ Куй Дона, Ханой, Вьетнам.

Хачатурова Карине Робертовна, к.п.н., доцент кафедры психологии и педагогики образования, Московский психолого-социальный университет.

Решетникова Наталия Владимировна, к.э.н., старший научный сотрудник, Институт аграрных проблем РАН, лаборатория стратегии развития институциональной среды АПК, Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук».

Северин Алексей Викторович, к.п.с.н., доцент, кафедра психологии, УО «Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина».

Носкова Галина Викторовна, к.э.н., ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ

Климова Ирина Викторовна, к.т.н., доцент, Высшая школа техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

Ягафарова Ильяна Маратовна, д.ист.н., доцент, ведущий научный сотрудник, АНО Центр научных исследований в сфере профориентации и психологии труда.

Лыгин Сергей Александрович, к.х.н., доцент, каф. биологии экологии и химии, Бирский филиал Уфимского университета науки и технологий.

Шулаев Алексей Владимирович, д.м.н., профессор, кафедра общей гигиены, Казанский ГМУ Минздрава России.

Юиц Алексей Эдуардович, преподаватель-исследователь, каф. Экономики и управления, ТГПУ им. Л.Н. Толстого

Киселева Наталья Станиславовна, к.б.н., с.н.с., лаборатория селекции, Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН).

Расулова Мухсинна Розиковна, PhD, доцент, кафедра судебной медицины, Самаркандский государственный медицинский университет.

Поминнов Андрей Викторович, к.п.н., кафедра педагогики и психологии, Уфимский университет науки и технологий Сибайский институт (филиал).

Унайбаев Булат Булатович, к.т.н., проректор по научной работе и международным связям, кафедра «Строительство», Екибастузский инженерно-технический институт имени академика К. Сатпаева.

Иванчихина Ольга Викторовна, соискатель степени кандидата наук, зав. каф. натурального здорового питания, АНО ВО «Балтийский политехнический институт».

Плаксунова Эльвира Викторовна, к.пед.наук, доцент, каф. физического воспитания, РУС (ГЦОЛИФК).

Халиков Альберт Рашитович, к.ф.-м.н., Уфимский университет науки и технологий (ответственный редактор).

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ.....	9
НЕКОТОРЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ КРАТНЫХ ИНТЕГРАЛОВ	
<i>Х.О. Ооржак</i>	9
КОМПЛЕКСНЫЕ ЧИСЛА И ИХ АРИФМЕТИКА	
<i>А.А. Хактыг-оол</i>	13
РЯДЫ ФУРЬЕ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ	
<i>А.А. Иргит</i>	16
УСЛОВНЫЙ ЭКСТРЕМУМ ФУНКЦИИ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ	
<i>А.Т. Саая</i>	20
СПОСОБЕН ЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ РАЗУМ РАСПОЗНАТЬ ПРИРОДУ ВЫСОКОЙ ОРГАНИЗОВАННОСТИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ?	
<i>Э.Ф. Васильев</i>	24
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ВОЛЬФРАМЕ И ВОЛЬФРАМ-РЕНИЕВОМ СПЛАВЕ	
<i>Г.Д. Дреев</i>	53
БИФУРКАЦИЯ РОЖДЕНИЯ ЦИКЛА В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛАЗЕРА	
<i>О.С. Кипкаева</i>	59
МОДИФИКАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОЛМОГорова В ТЕОРИИ МЕЛКОМАСШТАБНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ	
<i>Ю.В. Нужнов</i>	64
РЯДЫ В КОМПЛЕКСНОЙ ОБЛАСТИ	
<i>А.А. Сам</i>	72
ПРИМЕНЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕННОГО ИНТЕГРАЛА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ С ЭКОНОМИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ	
<i>А.Р. Серен-Доржу</i>	76
ГРАФЫ: ОСНОВЫ ТЕОРИИ. АЛГОРИТМЫ ПОИСКА	
<i>Н.А. Балчыр</i>	79
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ COMSOL MULTIPHYSICS	
<i>Е.Н. Паук, С.М. Сысоев</i>	82
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ НАУКАХ	
<i>К.С. Тельнова</i>	90

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8071877>
УДК 53.532.5.01

МОДИФИКАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОЛМОГОРОВА В ТЕОРИИ МЕЛКОМАСШТАБНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Ю.В. Нужнов,

д.ф.-м.н., проф.,

Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби,

г. Алматы

Аннотация: Представлены аналитические выражения коэффициентов Колмогорова, полученные на основе теории автономного статистического моделирования мелкомасштабной турбулентности ASMTurbS. Показано, что в обобщенной области турбулентного течения эти коэффициенты являются функциями коэффициента внешней перемежаемости, тогда как в области течения диссипативной жидкости они являются универсальными постоянными.

Ключевые слова: теория статистического моделирования, мелкомасштабная турбулентность, коэффициенты Колмогорова, перемежаемость

Введение

В теории мелкомасштабной турбулентности Колмогорова [1, 2] до сих пор остается нерешенным вопрос о постоянстве коэффициентов пропорциональности продольных структурных функций (далее – коэффициентов Колмогорова). Суть вопроса заключается в том, что с теоретической точки зрения такие коэффициенты не могут быть постоянными согласно «казанскому» замечанию Ландау [3, 4] (за исключением, возможно, коэффициента Колмогорова в законе «четырёх пятых»). Более того, теоретические и экспериментальные исследования [5, 6] убедительно указали на функциональную зависимость коэффициентов Колмогорова от величины коэффициента внешней перемежаемости, т.е. на зависимость этих коэффициентов от местоположения рассматриваемой точки в турбулентном потоке. В то же время многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют

об обратном, – значения коэффициентов Колмогорова в его известных законах «четырёх пятых» и «двух третей» являются универсальными постоянными.

Цель данной статьи, – получить аналитические выражения коэффициентов Колмогорова на основе теории автономного статистического моделирования ASMTurbS и прояснить вопрос об универсальности коэффициентов Колмогорова в свете «казанского» замечания Ландау.

Анализ данного вопроса

Особенностью теории Колмогорова является то, что за ее основу принимается некоторая область турбулентного течения G , мелкомасштабная структура которой является *локально однородной*. Однако в оригинальных работах Колмогорова [1, 2] эта область не была конкретизирована в смысле эффектов перемежаемости [7, 8], – при разработке теории K41 явление внешней перемежаемости еще не было известно, а при разработке теории K62 явление внутренней перемежаемости еще мало изучено. Именно в этой связи под областью G стала пониматься пространственно-временная область, в заданной точке которой теоретико-вероятностное (статистическое) усреднение мгновенных характеристик мелкомасштабной турбулентности является безусловным; как следствие, продольные структурные функции K62 в этой области представляются как безусловные.

В то же время в теоретических исследованиях [5, 6], уникальность которых обусловлена учетом эффектов *внешней* перемежаемости, продольные структурные функции были полными, т.е. представляли собой определенный симбиоз условных средних турбулентной и нетурбулентной жидкостей. Это же относится к теории ASMTurbS [7-9], особенностью которой является учет эффектов *внутренней* перемежаемости; здесь полные продольные структурные функции представляют собой определенный симбиоз сосуществования условных средних диссипативной и недиссипативной жидкостей.

Неопределенность «местоположения» области G в перемежающемся турбулентном потоке, как выясняется, послужила основанием известного «казанского» замечания Ландау с выводом о неуниверсальности коэффициентов пропорциональности продольных структурных функций и, в частности, коэффициентов Колмогорова $C_k^{(n)}$ в теории K41 [1]. В результате в «уточненном варианте теории

Колмогорова К62 [2] эти коэффициенты уже явно зависели от координат, т.е. $C_k^{(n)} = C_k^{(n)}(\mathbf{x})$. В то же время в законах Колмогорова «четырех пятых» (когда $C_k^{(3)}$) и «двух третей» (когда $C_k^{(2)}$) коэффициенты Колмогорова считаются универсальными постоянными. Более того, универсальность таких значений часто подтверждаются на практике. Нашей задачей является прояснить данную создавшуюся ситуацию в теории мелкомасштабной турбулентности.

Аналитическое выражение коэффициентов Колмогорова

Основанием теории *ASMTurbS* являются постулаты, сформулированные в [9] в виде *следующих* гипотез.

Гипотеза ASMTurbS 1. Все положения статистической теории мелкомасштабной турбулентности Колмогорова применимы только для *диссипативной* жидкости турбулентного течения.

Гипотеза ASMTurbS 2. Все *гидродинамические* величины, входящие в выражения структурных функций Колмогорова, являются *статистическими*.

Отсюда следует, что мелкомасштабная структура диссипативной жидкости развитых турбулентных течений локально изотропна, а условные продольные структурные функции в этой жидкости представляются в виде

$$S_d^{(n)}(r) = C_{kd}^{(n)} \langle \varepsilon \rangle_d^{n/3} r^{n/3} \left(\frac{l}{L_d} \right)^{-\langle \mu \rangle_d n(n-3)/18} \quad (1)$$

где $\langle \mu \rangle_d$ и $C_{kd}^{(n)}$ – коэффициенты Колмогорова как универсальные постоянные величины статистического характера; коэффициент $\langle \mu \rangle_d$ в (1) мы будем называть «экспоненциальным» коэффициентом Колмогорова. В то же время мелкомасштабная структура в обобщенной области таких течений локально неоднородна (из-за эффектов перемежаемости), так что согласно [7, 8, 9] и в силу $\langle \varepsilon \rangle \cong \gamma_d \langle \varepsilon \rangle_d$ полные продольные структурные функции мелкомасштабной структуры развитых турбулентных течений имеют вид:

$$S_f^{(n)}(\mathbf{x}, r) = \gamma_d S_d^{(n)}(r) \quad (2)$$

Другими словами, функции (2) представляют собой полные статистические средние

$$S_f^{(n)}(\mathbf{x}, r) = C_{kd}^{(n)} \gamma_d \langle \varepsilon \rangle_d^{n/3} r^{n/3} \left(\frac{l}{L_d} \right)^{-\langle \mu \rangle_d n(n-3)/18} \quad (3)$$

где $\gamma_d = \gamma_d(\mathbf{x})$ – коэффициент перемежаемости диссипативной жидкости. Таким образом, неоднородность мелкомасштабной структуры развитых турбулентных течений определяется величиной коэффициента γ_d ; в самой диссипативной жидкости коэффициент $\gamma_d = 1$, тогда как его взаимосвязь с внутренним коэффициентом перемежаемости γ_{dt} задается соотношением $\gamma_d = \gamma\gamma_{dt}$.

Проведем теперь модификацию теории K62 на базе теории *ASMTurbS*. Согласно принятым гипотезам *ASMTurbS* 1 и 2, безусловные структурные функции K62 принимают вид:

$$S_m^{(n)}(r) = C_{km}^{(n)} \gamma_d^{n/3} \langle \varepsilon \rangle_d^{n/3} r^{n/3} \left(\frac{l}{L} \right)^{-(\mu)n(n-3)/18} \quad (4)$$

где $C_{km}^{(n)}$ и $\langle \mu \rangle$ – модифицированные коэффициенты Колмогорова (далее – коэффициенты Колмогорова-Ландау ввиду их функциональной зависимости от величины коэффициента перемежаемости).

Теперь условие эквивалентности безусловных и полных средних дает:

$$S_m^{(n)}(r) = S_f^{(n)}(\mathbf{x}, r) = \gamma_d S_d^{(n)}(r) \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет определить функциональную зависимость коэффициентов Колмогорова-Ландау $C_{km}^{(n)}$ (4) от величины коэффициента внутренней перемежаемости в виде

$$C_{km}^{(n)} = C_{kd}^{(n)} \gamma_d^{1-n/3+(\mu)an(n-3)/18} \left(\frac{l}{L} \right)^{(\mu)-(\mu)d)n(n-3)/18} \quad (6)$$

со значениями коэффициентов Колмогорова $C_{kd}^{(n)} = const$ при $n = const$, и $\langle \mu \rangle_d = const$. Определение функциональной зависимости коэффициента $\langle \mu \rangle$ в (6) дано в [9].

В результате модифицированный закон Колмогорова «двух третей» с учетом $\langle \varepsilon \rangle \cong \gamma_d \langle \varepsilon \rangle_d$ записывается в виде

$$S_m^{(2)}(\mathbf{x}, r) = C_{km} \gamma_d^{2/3} \langle \varepsilon \rangle_d^{2/3} r^{2/3} \left(\frac{l}{L} \right)^{\langle \mu \rangle / 9} \quad (7)$$

где $C_{km} = C_{km}^{(2)}$ – коэффициент Колмогорова-Ландау, тогда как коэффициент Колмогорова $C_{kd}^{(2)} = 2.3$ согласно опытным данным [5, 6]. Таким образом,

$$C_{km} = C_{kd}^{(2)} \gamma_d^{1-2/3-\langle \mu \rangle_d / 9} \left(\frac{l}{L} \right)^{(\langle \mu \rangle_d - \langle \mu \rangle) / 9} \quad (8)$$

На рисунке 1 представлены результаты расчета коэффициента Колмогорова-Ландау C_{km} (8), выполненные в пересчете значений

$\gamma_d \Rightarrow \gamma$ [9]. Интересно заметить, что функциональная универсальность коэффициента C_{km} наблюдается только для значений коэффициента внешней перемежаемости $\gamma \geq 0.4$,

Аналогичная процедура модификации закона Колмогорова «четырёх пятых» даёт аналитическое выражение полной структурной функции третьего порядка. При этом согласно (6) значения коэффициентов Колмогорова-Ландау и коэффициентов Колмогорова совпадают, т.е. $C_{km}^{(3)} = C_{kd}^{(3)}$.

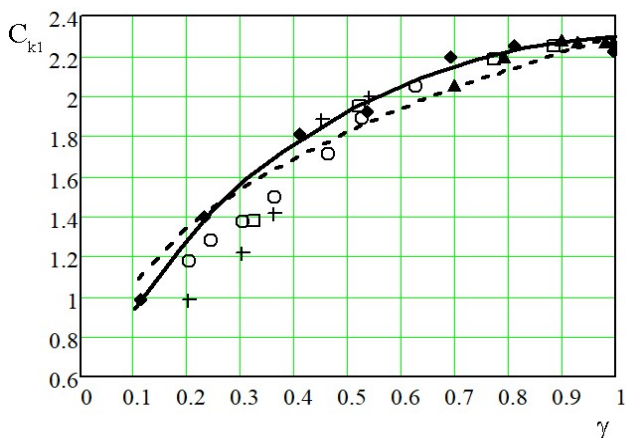


Рисунок – Универсальная функциональная зависимость коэффициента Колмогорова-Ландау C_{km} (8) от величины коэффициента внешней перемежаемости с параметром $l/L = 2 \cdot 10^{-4}$. Универсальный коэффициент Колмогорова $C_{kd}^{(2)} = 2.3$. Значки – опытные данные [5, 6]

Величина коэффициента Колмогорова $C_{kd}^{(3)} = -4/5$ найдена теоретически и подтверждена экспериментальными данными. При этом эта величина реализуется только в диссипативной локально изотропной жидкости турбулентного течения. Важно также заметить, что коэффициент $C_{km}^{(3)}$ является единственным коэффициентом Колмогорова-Ландау, который не зависит от коэффициента перемежаемости.

Заключение

В результате исследования коэффициентов Колмогорова, проведенного на основе теории ASMTurbS, выясняется следующее:

1) неоднородность мелкомасштабной структуры развитых турбулентных течений обусловлена эффектами внутренней перемежаемости диссипативных полей таких течений;

2) коэффициенты Колмогорова являются универсальными постоянными только в диссипативной жидкости турбулентного течения;

3) модифицированные коэффициенты Колмогорова, названные коэффициентами Колмогорова-Ландау, обладают универсальной функциональной зависимостью от величины коэффициента внутренней перемежаемости.

Таким образом мы приходим к выводу, что «противоречие» между теорией Колмогорова и «казанским» замечанием Ландау может быть устранено, если вместо безусловного среднего диссипации энергии мелкомасштабных флуктуаций скорости использовать ее полное среднее, а в ее полном среднем учесть эффекты внутренней перемежаемости диссипативной жидкости.

В заключение о хорошем соответствии функциональной зависимости коэффициента Колмогорова-Ландау в законе «двух третей» с опытными данными, которые представлены на Рисунке.

Прежде всего надо сказать, что полученная функциональная зависимость этого коэффициента может быть использована на практике с гораздо большей эффективностью, чем имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные со значительным «разбросом» его постоянных значений. Однако такое «хорошее» соответствие было достигнуто во многом за счет величины параметра $l/L = 2 \cdot 10^{-4}$, которая выбиралась из условия «наилучшего» совпадения с опытными данными.

И здесь имеется одна проблема, – использованные для сравнения опытные данные (которые приведены на рисунке) были выполнены в предположении локальной изотропии во всей турбулентной (а не диссипативной) жидкости турбулентного течения (это было сделано вынужденно ввиду чрезвычайной сложности соответствующих экспериментальных исследований).

Ясно, что для более тщательного тестирования коэффициентов Колмогорова-Ландау требуются специальные экспериментальные исследования мелкомасштабной структуры развитых турбулентных течений.

Список литературы

[1] Kolmogorov A.N. 1941. Local turbulence structure in incompressible viscous fluid at very high Reynolds numbers, Dokl. Akad Nauk SSSR 30. 299-303p.

[2] Kolmogorov A.N. 1962. A refinement of previous hypotheses concerning the local structures of turbulence in a viscous incompressible fluid at high Reynolds numbers, J. Fluid Mech. 13, pp. 82-85.

[3] Landau, L.D. & Lifshitz, E.M. 1987. Fluid Mechanics, 2nd edition. Pergamon Press, Oxford.

[4] Frisch U. Turbulence. 1995. The Legacy of A.N. Kolmogorov. Cambridge University Press.

[5] Kuznetsov, V. R. and Sabel'nikov, V. A. 1990. Turbulence and Combustion. New York: Hemisphere (Kuznetsov, V. R., Sabelnikov, V. A. 1986. Turbulence and combustion. Moskow. Nauka Press, in Russian).

[6] Kuznetsov, V. R., Praskovsky, A. A. and Sabelnikov, V. A. 1992. Fine-scale turbulence structure of intermittent shear flow. J. Fluid Mech., 243. 273-295 p.

[7] Нужнов, Ю.В. Перспективы дальнейшего развития теории мелкомасштабной турбулентности Колмогорова / Ю.В. Нужнов // Фундаментальные и прикладные аспекты развития современной науки: Сборник научных статей по материалам XII Международной научно-практической конференции, Уфа, 12 мая 2023 года. В 4 частях, Часть 1. – Уфа: "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. – С. 32-39. – EDN FZXAWZ. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7987895>

[8] Нужнов Ю.В. К теории мелкомасштабной турбулентности. Закон Колмогорова “двух третей” в свете замечания Ландау // Флагман науки: научный журнал. Май 2023.- СПб., Изд.ГНИИ "Нацразвитие", 2023. № 4 (4). 6 с. DOI 10.37539/2949-1991.2023.4.4.038.

[9] Nuzhnov Yu. 2013. Some results of statistical modeling of the small-scale turbulence structure revealed with consideration of intermittency//

IMECE. – California, San Diego. – Vol.7A: Fluids Engineering Systems and Technologies. – 7 p.

© Ю.В. Нужнов, 2023