

О ТУРБУЛЕНТНОСТИ

© Воронков С.С.

Контакт с автором: vorss60@yandex.ru

Аннотация

Отмечается необходимость учета сжимаемости среды при рассмотрении турбулентности в жидкостях и газах. Турбулентность в жидкостях и газах представляет собой циклический процесс возникновения и распада вихревых трубок. Полный цикл турбулентности включает следующие этапы: усиление низкочастотных возмущений, возникновение волн Толлмина-Шлихтинга, возникновение вихревых трубок, деформация и растяжение вихревых трубок, распад вихревых трубок, сопровождающийся взрывным, асимптотическим ростом пульсации давления, распространение возмущений давления по вихревым трубкам с образованием турбулентных пятен Эммонса, возникновение пульсаций скорости различных частот и интенсивностей. Приводится график полного цикла турбулентности.

Введение

Турбулентность – одна из нерешенных проблем современной физики [1]. С точки зрения инженерной практики явление турбулентности понятно. Инженеры знают, что режимы движения жидкости (ламинарный, переходный, турбулентный) влияют на потери давления и энергии в технических системах. В XX веке в результате многочисленных экспериментальных и теоретических исследований получены методики и формулы расчета этих потерь. Но нет окончательного понимания физики процесса. Полученные экспериментальные результаты по внутренней структуре турбулентных потоков не всегда описываются теоретическими моделями. Есть разрыв между теорией и экспериментом.

Приведем несколько цитат известных ученых, подчеркивающих сложность проблемы турбулентности. Струминский В.В. [2]: «Проблема турбулентности на протяжении целого века не получила минимально необходимого теоретического обоснования несмотря на значительные усилия многих всемирно известных ученых и несмотря на наибольшую распространенность этого вида движения материи в окружающей нас биосфере, а также во всей практической деятельности человечества. Ученые вынуждены были чисто эмпирически решать важнейшие научные и технические проблемы, затрачивая подчас огромные средства». Лапин Ю.В. [3]: «Завершая краткое, далеко не полное, отчасти хронологическое описание становления некоторых идей и подходов, лежащих в основании математического моделирования турбулентности, трудно избавиться от ощущения, что кажущиеся иногда весьма пессимистическими прогнозы относительно сроков решения тех или иных проблем турбулентности, со временем представляются излишне оптимистическими, в очередной раз напоминая об умении природы хранить свои тайны».

При попытке решения сложных задач, не поддающихся решению, самое простое, что можно порекомендовать, это проанализировать критически принимаемые при постановке

задачи допущения. Традиционно считается, что турбулентность в жидкостях и газах описывается системой уравнений Навье-Стокса в приближении несжимаемости среды.

В работе [4] ставится под сомнение правомерность допущения несжимаемости жидкости и газа при рассмотрении турбулентности. Явление турбулентности связано со сжимаемостью среды.

Турбулентность

В работе [4] показано, что турбулентность в жидкостях и газах представляет собой циклический процесс возникновения и распада вихревых трубок. Полный цикл турбулентности включает следующие этапы:

усиление низкочастотных возмущений, возникновение волн Толлмина-Шлихтинга, возникновение вихревых трубок, деформация и растяжение вихревых трубок, распад вихревых трубок, сопровождающийся взрывным, асимптотическим ростом пульсации давления, распространение возмущений давления по вихревым трубкам с образованием турбулентных пятен Эммонса, возникновение пульсаций скорости различных частот и интенсивностей.

Приведем уравнения, описывающие различные этапы турбулентности для вязкого газа [4] в Таблице №1.

Таблица №1

Полный цикл турбулентности в вязком газе		
№ этапа	Название	Уравнения и формулы
1.	Усиление низкочастотных возмущений.	$\Delta p = 2(k-1)\mu \frac{u_{\infty} u'_m}{\omega \delta^2} \sin \omega t.$
2.	Возникновение волн Толлмина-Шлихтинга.	$\frac{\partial^2 \mathbf{V}}{\partial t^2} = (a_s^2 + \frac{4}{3}(k-1)v \operatorname{div} \mathbf{V}) \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{V}.$
3.	Возникновение вихревых трубок.	$\frac{\partial^2 \boldsymbol{\omega}}{\partial t^2} = 0.$
4.	Деформация и растяжение вихревых трубок.	$\frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} = \boldsymbol{\omega} \mathbf{S} - \boldsymbol{\omega} \operatorname{div} \mathbf{V} - \text{ур-ние Фридмана}.$
5.	Распад вихревых трубок, сопровождающийся взрывным, асимптотическим ростом пульсации давления.	$\Delta p = \mu \frac{k-1}{3} \frac{1}{t_0} \frac{\tau}{1-\tau}.$
6.	Распространение возмущений давления с образованием турбулентных пятен Эммонса.	$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = (a_s^2 + \frac{4}{3}(k-1)v \operatorname{div} \mathbf{V}) \operatorname{div} \operatorname{grad} p.$
7.	Возникновение пульсаций скорости различных частот и интенсивностей, подготавливающих условия для нового цикла генерации турбулентности.	$\frac{d\mathbf{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p + \nu \nabla^2 \mathbf{V} + \frac{\nu}{3} \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{V} -$ уравнение Навье-Стокса.

В работе [4] приведено обобщение полученных уравнений для вязкого газа на жидкости.

График полного цикла турбулентности

Приведем график полного цикла турбулентности в жидкостях и газах – рис. 1

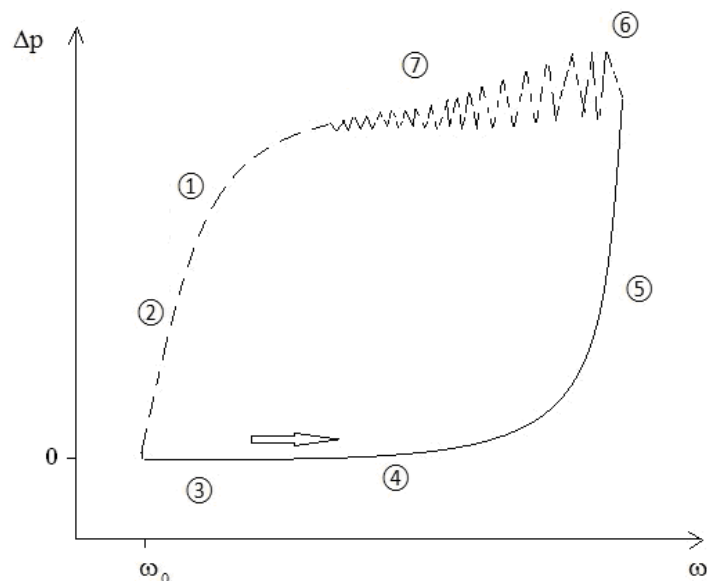


Рис. 1. График полного цикла турбулентности в жидкостях и газах. ① — номер соответствующего этапа, Δp — пульсации давления, ω — круговая частота вихревых трубок, ω_0 — круговая частота вихревой трубки до начала распада. Сплошной кривой изображены процессы образования вихревых трубок, их растяжения, деформации и распада — этапы ③, ④, ⑤. Штриховой кривой изображены процессы образования пятен Эммонса, возникновения пульсаций скорости, усиления низкочастотных возмущений, возникновения волн Толлмина-Шлихтинга — этапы ⑥, ⑦, ①, ②. На этих этапах происходит непосредственно диссипация энергии и подготовка формирования вихревых трубок. Стрелка указывает направление обхода цикла — «против часовой стрелки»

Выводы

1. Отмечается необходимость учета сжимаемости среды при рассмотрении турбулентности в жидкостях и газах.
2. Турбулентность в жидкостях и газах представляет собой циклический процесс возникновения и распада вихревых трубок. Полный цикл турбулентности включает следующие этапы: усиление низкочастотных возмущений, возникновение волн Толлмина-Шлихтинга, возникновение вихревых трубок, деформация и растяжение вихревых трубок, распад вихревых трубок, сопровождающийся взрывным, асимптотическим ростом пульсации давления, распространение возмущений давления по вихревым трубкам с образованием турбулентных пятен Эммонса, возникновение пульсаций скорости различных частот и интенсивностей.
3. Приводится график полного цикла турбулентности в жидкостях и газах.

Литература

1. Нерешенные проблемы современной физики. – Википедия. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Нерешённые_проблемы_современной_физики (дата обращения: 13.07.2023).
2. Струминский В.В. К теоретическим основам турбулентных течений. Докл. АН СССР, 1985, Том 280, № 3, 570-574.
3. Лапин Ю.В. Статистическая теория турбулентности (прошлое и настоящее – краткий очерк идей). Научно технические ведомости № 2, 2004. Проблемы турбулентности и вычислительная гидродинамика (к 70-летию кафедры «Гидроаэродинамика»). С. 1-34.
4. Воронков С.С. Турбулентность. Уравнения Навье-Стокса. – Псков: ЛЕВИТРОН, 2023. – 58 с. Электронный вариант работы представлен на Яндекс.Диске: <https://disk.yandex.ru/i/trPr58H2Fqwevg>