

О ПОЛНОМ ЦИКЛЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ЖИДКОСТЯХ И ГАЗАХ

© Воронков С.С.

Контакт с автором: vorss60@yandex.ru

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.

Ключевые слова: турбулентность в жидкостях и газах, полный цикл турбулентности, вихревая трубка.

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.

В работе [2] показано, что турбулентность в жидкостях и газах представляет собой циклический процесс возникновения и распада вихревых трубок.

Полный цикл турбулентности включает следующие этапы [2]:

1. Усиление низкочастотных возмущений.
2. Возникновение волн Толлмина-Шлихтинга.
3. Возникновение вихревых трубок.
4. Деформация и растяжение вихревых трубок.
5. Распад вихревых трубок, сопровождающийся взрывным, асимптотическим ростом пульсации давления.
6. Распространение возмущений давления по вихревым трубкам с образованием турбулентных пятен Эммонса.
7. Возникновение пульсаций скорости различных частот и интенсивностей, создающих условия для нового цикла генерации турбулентности.

Каждый из этапов описывается своим уравнением или формулой. Приведем эти уравнения в форме таблицы с привлечением общих констант – C_1, C_2, C_3 для жидкостей и газов.

Таблица № 1

Полный цикл турбулентности в жидкостях и газах		
№ этапа	Название	Уравнения
1.	Усиление низкочастотных возмущений.	$\Delta p = C_1 \mu \frac{u_\infty u'_m}{\omega \delta^2} \sin \omega t.$
2.	Возникновение волн Толлмина-Шлихтинга.	$\frac{\partial^2 \mathbf{V}}{\partial t^2} = (a_{Si}^2 + C_2 \nu \operatorname{div} \mathbf{V}) \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{V}.$
3.	Возникновение вихревых трубок.	$\frac{\partial^2 \boldsymbol{\omega}}{\partial t^2} = 0.$
4.	Деформация и растяжение вихревых трубок.	$\frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} = \boldsymbol{\omega} \dot{S} - \boldsymbol{\omega} \operatorname{div} \mathbf{V}$ – ур-ние Фридмана.
5.	Распад вихревых трубок.	$\Delta p = C_3 \mu \frac{\omega_0^4 t_0^3}{(1-\tau)^3}.$
6.	Распространение возмущений давления.	$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = (a_{Si}^2 + C_2 \nu \operatorname{div} \mathbf{V}) \operatorname{div} \operatorname{grad} p.$
7.	Возникновение пульсаций скорости.	$\frac{d\mathbf{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p + \nu \nabla^2 \mathbf{V} + \frac{\nu}{3} \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{V}$ – уравнение Навье-Стокса.

Приведем значения констант – C_1, C_2, C_3 в таблице № 2.

Таблица № 2

№ п/п	Среда	a_{Si}	C_1	C_2	C_3
1.	Совершенный газ	a_s	$2(k-1)$	$\frac{4}{3}(k-1)$	$\frac{4}{9}(k-1)$
2.	Газ Ван-дер-Ваальса	a_{sb}	$2(k-1) \frac{\nu}{\nu-b}$	$\frac{4}{3}(k-1) \frac{\nu}{\nu-b}$	$\frac{4}{9}(k-1) \frac{\nu}{\nu-b}$
3.	Жидкость	a_{sg}	$2(k_*-1) \frac{\nu}{\nu-b}$ – первое приближение, требуется экспериментального уточнения	$\frac{4}{3}(k_*-1) \frac{\nu}{\nu-b}$ – первое приближение, требуется экспериментального уточнения	$\frac{4}{9}(k_*-1) \frac{\nu}{\nu-b}$ – первое приближение, требуется экспериментального уточнения

Обозначения переменных приведены в работе [2].

Некоторые из приведенных этапов в тех или иных условиях могут отсутствовать. Этап 2 возникновения волн Толлмина-Шлихтинга происходит, как правило, на передней кромке пластины при низкой начальной турбулентности и в развитом турбулентном потоке отсутствует. Этап 6, при равномерном растяжении вихревой трубки по всей длине, также может отсутствовать.

Выводы:

1. Турбулентность в жидкостях и газах представляет собой циклический процесс возникновения и распада вихревых трубок. Приведены уравнения, описывающие полный цикл турбулентности, включающий различные этапы.
2. Некоторые из приведенных этапов в тех или иных условиях могут отсутствовать.

Литература

1. Нерешенные проблемы современной физики. – Википедия.
https://ru.wikipedia.org/wiki/Нерешённые_проблемы_современной_физики
2. Воронков С.С. Турбулентность полный цикл. – Псков: Vorss60, 2022. – 44 с.
Электронный вариант работы представлен на Яндекс.Диске:
<https://disk.yandex.ru/i/YTJbMTrXyuMV7w>