

ІСТОРІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ З ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ТУРБУЛЕНТНОСТІ ТА НЕЛІНІЙНА ДИНАМІКА (СВІТОВИЙ КОНТЕКСТ)

Кілоцицька Т.В.

Важливими для створення і формування нелінійної динаміки є дослідження турбулентності. Гідродинамічну турбулентність розглядають як взаємодію великої кількості вихорів і відбувається передача енергії від крупних вихорів до малих.

Питання зародження турбулентності сприяли формуванню поняття сценарію переходу від регулярного руху до хаотичного і використанню ідей і понятійного апарату теорії динамічних систем. При дослідженні турбулентності сформувався два напрями: зародження турбулентності (коли збуджується невелика кількість степенів вільності) та розвинена турбулентність (важливою частиною є статистична теорія турбулентності (Дж. Тейлор, Л. Ричардсон, А.М. Колмогоров, 1922-1941). Ці дослідження стимулювали вивчення нелінійної динаміки. Зокрема, вивчення критичної точки, після якої система створює турбулентність.

У 1883 р. англійський фізик Осборн Рейнольдс встановив, що в залежності від безрозмірного параметра (пізніше відомого як число Рейнольдса) рух води в трубці є турбулентним (коли $Re=2000-3000$) або ламінарним (Re менше декількох сотен). Одним з засновників гідродинамічної теорії з використанням числа Re є російський вчений Микола Єгорович Жуковський (1847-1921) та його учень Сергій Олексійович Чаплигін (1869-1942).

У 1884 р. О.Рейнольдс запропонував для дослідження турбулентності застосовувати статистичний підхід, при якому газодинамічні змінні (швидкість, тиск тощо) є випадковими величинами і використовуються методи теорії ймовірностей.

У 1921 р. англійський вчений Дж.Тейлор досліджував перенесення частинок при турбулентності, використав вперше статистичний підхід і встановив певну закономірність. Він висунув ідею ізотропної однорідної турбулентності та запропонував механізм турбулентного перемішування при великих числах Рейнольдса.

Причини виникнення турбулентності залишалися нез'ясованими, хоча основні рівняння, що описують динаміку в'язкої рідини, – рівняння Нав'є-Стокса, вже були відомі. В 1924 р. радянські вчені А. А. Фрідман і Л. В. Келлер в їх спільній доповіді на Першому міжнародному конгресі з прикладної механіки запропонували загальну програму об'єднання динамічних і статистичних методів дослідження турбулентних течій, основа – загальний метод

побудови нескінченного ланцюжка рівнянь для моментів, що базуються на використанні Нав'є-Стокса рівнянь.

Великий внесок у розвиток теорії турбулентності зробив А.М. Колмогоров. У 1941 р. він розвинув якісну схему вихрового руху Ричардсона та отримав якісні результати, які допускали експериментальну перевірку [1, 2, 3]. Важливими є гіпотези подібності для нелінійних процесів (перша і друга), які сформулював Колмогоров. В основі праць Колмогорова 1940-х рр. міститься положення про локальну ізотропію, однорідність та стаціонарність гідродинамічних полів при великих числах Рейнольдса. Загальний аналіз властивостей турбулентних течій він доповнює дослідженням з використанням диференціальних рівнянь гідромеханіки [3].

Одна з теорій переходу до турбулентності була побудована у 1944 р. Ландау. Радянський фізик Л.Д. Ландау у статті «До проблеми турбулентності» (1944) припустив, що турбулентність виникає в результаті великого числа (каскаду) послідовних біфуркацій, кожна з яких полягає в появі коливач з новою частотою. Виникають частоти, які знаходяться в ірраціональному співвідношенні з попередніми частотами [4]. Аналогічні уявлення розвивав дещо пізніше німецький математик Е. Хопф у праці «Математичний приклад, що демонструє особливості турбулентності» (1948). Тому цю картину виникнення турбулентності називають сценарієм Ландау-Хопфа (Ландау-Хопфа теорія турбулентності, 1944-1948). Тобто, перехід течії від ламінарного стану до турбулентного розглядається як перехід системи через точки біфуркації (через послідовність біфуркацій відбувається каскадний розвиток нестійкостей).

У зв'язку зі з'ясуванням питання як виникла турбулентність, виходячи з сценарію Ландау-Хопфа (в умовах сильної дисипації є ланцюжок квазіперіодичних рухів, які ускладнюються) Г.М. Заславський у 1978 р. запропонував простішу модель дивного аттрактора.

Перехід до турбулентності Ландау сприяв зародженню другої концепції виникнення турбулентних течій (сценарій Рюеля-Такенса). У 1971 р. Д. Рюель і Ф. Такенс (Тейкнс) в роботі «Про природу турбулентності» піддали критиці теорію Ландау і запропонували виходити з аперіодичного руху замість квазіперіодичного [5]. Вони вивчили загальну гідродинамічну задачу виникнення складної динаміки – хаосу. В 1971 р. на конференції «Статистичні методи і турбулентність» Д. Рюель описав механізм переходу до турбулентності через ряд біфуркацій (пізніше названий сценарієм Рюеля-Такенса) і вперше вказав на дивного аттрактора. Загальноприйнятого математично строгого означення дивного аттрактора і досі немає. Він являє область фазового простору, заповнену хаотичними траєкторіями.

Д. Рюель і Ф. Такенс поставили питання про аттрактори більш складної форми ніж нерухомі точки або періодичні траєкторії.

Робота Рюеля і Такенса 1971 р. мала вплив на дослідження з теорії динамічних систем і піддалася критиці. Аргументація і в роботі Ландау, і в роботі Рюеля і Такенса має загальний характер і пояснює виникнення турбулентності та складної динаміки в дисипативних системах іншої фізичної природи.

А.М. Колмогоров, критикуючи сценарій Ландау-Хопфа, висунув дві гіпотези щодо збільшення розмірності аттрактора з зростанням числа Рейнольдса. Ці гіпотези залишаються недоведеними. За теорією А.М. Колмогорова роль аттрактора перейде від точки до множини більшої розмірності, наприклад, до граничного циклу. Важливе значення в закріпленні поняття дивного аттрактора і оснований на ньому сценарію Рюеля-Такенса є обчислювальний експеримент, проведений у 1974 р. Дж.Мак-Лафлінім та П.Мартиниом та натурний експеримент Дж.Голаба та Х.Суїнні 1975 р.

У 1963 р. український вчений М.М. Боголюбов за допомогою результатів А.М. Колмогорова і В.І. Арнольда з проблем стійкості рухів, Ю. Мозера з прискореної збіжності а також методу інтегральних багатомодів встановив умови існування квазіперіодичних розв'язків і їх властивості аналітичності відносно параметра. Він запропонував теорію збурень стійких квазіперіодичних розв'язків неконсервативних систем диференціальних рівнянь [6].

У 1974 р. А.М. Обухов ввів поняття системи гідродинамічного типу. У 1981 р. Ю.С. Ілляшенко отримав результати при встановленні верхньої границі розмірностей аттракторів галеркінських наближень рівнянь Нав'є-Стокса для періодичних граничних умов, у 1983 р. А.В. Бабін та М.І. Вишик – для обмеженого випадку.

В гідродинамічних течіях при переході до турбулентності розглядаються різні ланцюжки бифуркацій, які не приводили до гіперболічного аттрактора. Виникали об'єкти, які мали стійкі періодичні орбіти і властивості дивного аттрактора. На основі цього Афраїнович та Шільніков у 1983 р. ввели поняття квазіаттракторів.

Внесок в розвиток теорії турбулентності, в формування нелінійної динаміки зробив американський фізик Мітчелл Фейгенбаум (Файгенбаум (Фейдженб)). Так як і Рюель і Такенс, Фейгенбаум при описанні переходу до турбулентності не використовував рівняння гідродинаміки в явному вигляді, а розглядав топологічні та структурні характеристики моделей.

Розвиток нелінійної динаміки сприяв виникненню ще одного сценарію виникнення турбулентного руху. В 1980 р. І.Помо та П.Манневіль

запропонували механізм переходу до хаосу через перемежованість у часі періодичних впливів (сценарій Помо-Манневіля) [7, 8].

Зараз багато теоретичних і експериментальних досліджень присвячено дослідженню різних структур в турбулентних течіях. Досі питання пояснення турбулентності залишається відкритим [9].

Література

1. Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости при очень больших числах Рейнольдса /А.Н.Колмогоров // ДАН СССР. 1941. - Т. 30. - № 4. - С. 299-303.

2. Колмогоров А.Н. К вырождению изотропной турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости /А.Н.Колмогоров // ДАН СССР. 1941. - Т. 31. - № 6. - С. 538-541.

3. Колмогоров А.Н. Рассеяние энергии при локально-изотропной турбулентности /А.Н.Колмогоров // ДАН СССР. 1941.-Т. 32.-№ 1.-С. 19-21.

4. Ландау Л.Д. К проблеме турбулентности /Л.Д. Ландау //ДАН СССР, 1944. -№44. – 339.

5. Ruelle D., Takens F. On the Nature of Turbulence/ D.Ruelle, F.Takens // Comm. Math. Phys. 1971. - V. 20.-P. 167-192.

6. Боголюбов Н.Н. О квазипериодических решениях в задачах нелинейной механики / Н.Н. Боголюбов // Труды первой летней матем. школы.– Киев: Наук. думка, 1964. – Т. 1. – С. 11–101.

7. Pomeau Y., Manneville P. Intermittent transition to Turbulence in Dissipative Dynamical Systems / Y.Pomeau, P.Manneville // Comm. Math. Phys. 1980. - V. 74. - P. 189-197.

8. Manneville P., Pomeau Y. Different ways to turbulence in dissipative dynamical systems / P.Manneville, Y.Pomeau // Physica ID. 1980. - P. 219-226.

9. Синай Я.Г. Как математики изучают хаос / Я.Г. Синай // Математическое просвещение. Третья серия. 2001. - В. 5. - С. 32-46.

БУДИНКИ СЕЛЯНИНА – ОСЕРЕДКИ КУЛЬТУРНО-ПРОСВІТНИЦЬКОЇ РОБОТИ НА СЕЛІ

Коваленко С. Д.

Після жовтневої революції 1917 р. з'явилися перші колективні господарства (колгоспи) як своєрідні «школи комунізму для селянства», перед якими радянська влада ставила нові завдання щодо зміцнення і розвитку суспільного господарства, підвищення