

ВІД НЕЛІНІЙНОЇ МЕХАНІКИ ДО НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ

Кілочицька Т. В.

*Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка,
м. Чернігів, к.і.н., доцент, e-mail: kilocht@gmail.com*

Більшість реально існуючих у природі явищ нелінійні. Для них характерні такі явища, як нестійкість, наявність складних рухів, неможливість однозначно визначити минуле та майбутнє системи, знаючи її стан в даний момент часу. Ще на початку ХХ ст. у різних галузях науки й техніки виникла необхідність створення методів, придатних для якісного та кількісного вивчення нелінійних процесів.

Французький учений А. Пуанкаре при дослідженні задачі трьох тіл вперше описав гомоклінічні структури (1890), які пізніше стали одним з основних об'єктів нелінійної динаміки. Він висловив припущення, що розв'язки багатьох задач небесної механіки чутливі до початкових умов і тому рух тіл по орбітах є непередбачуваним. А. Пуанкаре припустив, що поблизу кожного тіла є деякі малопомітні фактори і явища, які можуть викликати нерегулярності. Поведінка навіть простої системи істотно залежить від початкових умов, не все можна передбачити. При розгляді задачі трьох тіл А. Пуанкаре виявив також існування фазових траєкторій, які поводили себе заплутано й складно.

Під впливом ідей Пуанкаре Дж. Біркгоф ввів поняття динамічної системи (1912, 1927). З 1930-х рр. теорія динамічних систем є одним з основних напрямів досліджень, формування якої вплинуло на становлення нелінійної науки. А. Пуанкаре також у творах «Про криві, які визначаються диференціальними рівняннями» (1881-1885) та «Нові методи небесної механіки» (1892–1899) одержав перші топологічні теореми: про індекс циклу та кількість особливих точок, про зв'язок між кількістю особливих точок і родом поверхні. У третьому томі праці «Нові методи небесної механіки», розділі «Стійкість за Пуасоном» А. Пуанкаре виклав ідею про вивчення поведінки динамічних систем «в цілому» та сформулював першу ергодичну теорему про повернення.

В задачах А. Пуанкаре і радянського вченого О.М. Ляпунова про фігури рівноваги рідких мас, що обертаються, виникло поняття біфуркації (одне з понять нелінійної динаміки). А. Пуанкаре у працях «Про криві, які визначаються диференціальними рівняннями» (1885) і «Нові методи небесної механіки» (1892—1899) запропонував визначати характер руху за видом правої частини диференціального рівняння, не інтегруючи його, та з множини інтегральних кривих знаходити криві, які відповідають періодичним розв'язкам. Він розробив метод визначення цих кривих — геометричний метод якісного опису руху в фазовому просторі. О.М. Ляпунов продовжував розвивати якісні методи. Одним із його основних результатів є з'ясування поведінки інтегральних кривих рівнянь руху поблизу положення рівноваги. Завдяки школі Л.І. Мандельштама (дитинство, юність та частина наукової діяльності якого пов'язана з Україною), якісні методи до початку 30-х років ХХ ст. знайшли широке застосування в теорії коливань для вивчення суто періодичних режимів.

Паралельно в Києві українськими вченими М.М. Криловим та М.М. Боголюбим формується нова гілка теорії нелінійних коливань – нелінійна механіка. З 1932 по 1937 р. ними опубліковано понад 30 спільних праць, присвячених розв'язанню проблем, що стосуються нелінійних коливань. За допомогою асимптотичних розкладів стало можливим будувати не тільки перше, але й вищі наближення; отримувати формули, досить зручні для практичних обчислень. У Києві сформувалася школа з нелінійної механіки.

У доповіді «Основні проблеми нелінійної механіки» 12 січня 1934 р. на засіданні сесії Всеукраїнської академії наук М.М. Крилов і М.М. Боголюбов обґрунтовують необхідність розробки нових методів для дослідження нелінійних коливань. Ці дослідження «покладають основу нелінійної механіки... нової галузі математичної фізики, яка зразу застосовується до всіх тих галузей науки, де досліджуються нелінійні коливання» [1, с. 87]. У доповіді вони зазначають: «А. Пуанкаре та О.М. Ляпунов мають розглядатися як засновники цього нового розділу механіки, який, як ми вважаємо, треба б назвати нелінійною механікою і метою якої є створення загальної теорії нелінійних коливань» [1, с. 85].

У 1930-х рр. М.М. Боголюбов досліджував нормальні структури точних розв'язків рівнянь і застосовував при цьому деякі топологічні методи, зокрема, дослідження А. Пуанкаре щодо характеристик на поверхні тора, доповнені 1932 р. французьким математиком Л. Данжуа відносно відображення тора на себе. М.М. Боголюбов дійшов висновку про те, що майже періодичність є скоріше за все винятком, аніж правилом. При цьому виникла потреба вивчення різних середніх значень динамічних змінних, які розглядаються як функції часу [2; 3].

Результати досліджень з ергодичної теорії були використані в монографії М.М. Крилова і М.М. Боголюбова «Застосування методів нелінійної механіки до теорії стаціонарних коливань» (1934) при створенні методу інтегральних багатовидів у нелінійній механіці [4, С. 323–337]. У праці «Інваріантні та транзитивні міри в нелінійній механіці» (1936) М.М. Крилов і М.М. Боголюбов ввели важливе поняття ергодичної множини і довели, що в компактному просторі існує множина, яка може бути розбита на ергодичні множини, які є інваріантними при перетвореннях групи, і на кожному з них можна визначити нормовану, інваріантну і транзитивну міри [5]. Вони довели ряд теорем розбиття інваріантної міри на міри, локалізовані в ергодичних множинах. М.М. Крилов і М.М. Боголюбов дослідили коливальні процеси з багатьма частотами для резонансного та нерезонансного випадків, узагальнили поняття еквівалентних параметрів [6, с. 395–410; 208–223]. Результатом стало формування окремої математичної дисципліни – ергодичної теорії або метричної теорії динамічних систем.

У 1937 р. М.М. Крилов та М.М. Боголюбов довели існування інваріантних мір для широкого класу динамічних систем. Цей важливий результат відомий як теорема Крилова-Боголюбова: в компактному фазовому просторі динамічної системи існує інваріантна міра [7]. Результати цих досліджень викладені у їх праці «Загальна теорія міри в нелінійній механіці» (1937) [8]. В ній М.М. Крилов і М.М. Боголюбов дали строге обґрунтування методу усереднення.

Загальна теорія міри в нелінійній механіці зумовила подальший розвиток теорії динамічних систем і дозволила пояснити властивості стаціонарних рухів, таких як рекурентність, тобто сильну стійкість за Пуасоном, спектральність тощо. Дослідження умов, за яких системи з невеликою кількістю степенів свободи, які мають статистичні властивості, є ергодичними, класифікація різних типів потоків в фазовому просторі та вивчення їх властивостей є тією частиною ергодичної теорії, що увійшла в математичну основу теорії нелінійної динаміки.

У 1950-х рр. під впливом класичної праці М.М. Крилова та М.М. Боголюбова про існування інваріантної міри та праць Дж. фон Неймана з спектральної теорії динамічних систем радянський математик А.М. Колмогоров досліджує динамічні системи [9, 10]. У 1954 р. А.М. Колмогоров в доповіді «Загальна теорія динамічних систем і класична механіка» (1954) виклав програму вивчення динамічних систем і свої результати (сформулював основні положення теорії Колмогорова-Арнольда-Мозера (КАМ)) [10].

Створені М.М.Криловим та М.М.Боголюбовим асимптотичні методи нелінійної механіки одержали узагальнення й розвиток в працях Ю.О. Митропольського, в яких вперше в світовій літературі викладена строга і єдина теорія дослідження цих явищ. В процесі створення нелінійної механіки українськими вченими М.М. Криловим та М.М.Боголюбовим відбулося формування деяких наукових понять, які стали базовими при становленні у 60-70-х рр. ХХ ст. нової міждисциплінарної науки – нелінійної динаміки. На зміну локальному підходу прийшло глобальне описання, поведінка системи розглядалася на всьому фазовому просторі. Відбувається становлення феномену хаосу в консервативних (гамільтонових) і дисипативних системах. Швидко розвивається теорія динамічних систем в Україні (О.М.Шарковський та його учні), в Москві (А.М.Колмогоров, В.І.Арнольд, Я.Г.Сінай, Д.В.Аносов В.І.Оселедець, Я.Б.Песін, В.К.Мельніков, М.В.Якобсон та ін.), Нижньому Новгороді (Ю.І.Неймарк, Л.П.Шільников та їх учні), в США і в Франції (С.Смейл, Д.Рюель, Ф.Такенс, Р.Боуен, Ю.Мозер, Дж.Мезер, С.Ньюхаус, Дж.Паліс, М.Пейксото, Р.Том та ін.). Зародилася і набула розвитку теорії фракталів (Б.Мандельброт). Отримані результати покладені в основу математичного апарату нелінійної динаміки.

Почала формуватись нелінійна мова, зародилось нелінійне мислення. Поняття нелінійні коливання, нелінійні системи, нелінійна фізика, нелінійність стали міждисциплінарними поняттями. Дослідження з нелінійної динаміки сприяли формуванню нового погляду на питання стійкості (нестійкості), локального опису (глобального підходу), хаотичності (впорядкованості). Бурхливий розвиток нелінійної динаміки розпочався в 1970-1980-х рр. і привів до заміни парадигми лінійності парадигмою нелінійності, відбулися зміни у науковій картині світу та методології науки.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

1. Крилов Н.М, Боголюбов М.М. Основні проблеми нелінійної механіки. Теорія і застосування в різних технічних і фізичних науках. Доповідь на Січневій сесії ВУАН. Сб.оттисков 162, 173, 175, 189. 1934.

2. Боголюбов Н.Н. Sur l'approximation des fonctions par les sommes trigonometriques. ДАН СССР. 1930. № 6. С. 147–152.
3. Боголюбов Н. Н. Sur l'approximation trigonometriques des fonctions dans l'intervalle infini. Изв. АН СССР. 1931. №1/2. С. 23–54.
4. Крылов Н. М. Приложение методов нелинейной механики к теории стационарных колебаний. К.: Изд-во ВУАН. 1934. 108 с.
5. Kryloff N. Les mesures invariantes et transitives dans la mecanique non lineaire (Инвариантные и транзитивные меры в нелинейной механике). Мат. сборник. 1936. Т. 1 (43). №5. С. 707–711.
6. Крылов Н.М. Введение в нелинейную механику (Приближенные и асимптотические методы нелинейной механики). Зап. Каф. математической физики. АН УССР. 1937. Т. 1–2. 364 с.
7. Kryloff N. La théorie générale de la mesure dans son applications a l'étude des système dynamiques de la mécanique non linéaire. Ann. Math.. 1937. V. 38. P. 65-113.
8. Крилов М.М. Загальна теорія міри в нелінійній механіці. Збірник праць з нелінійної механіки. К.: Вид-во АН УРСР. 1937. С. 55–112.
9. Колмогоров А.Н. О динамических системах с интегральным инвариантом на торе. ДАН СССР. 1953. Т. 93. С. 763-766.
10. Колмогоров А.Н. Общая теория динамических систем и классическая механика. Proc. Intern. Congr. Math. Amsterdam. 1954. V. 1. P. 315-333.

**ПЕРШІ ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ ЖУРНАЛУ
«УКРАЇНСЬКІ ФІЗИЧНІ ЗАПИСКИ»
(ДО 90-РІЧЧЯ ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ)**

В. Г. Козирський¹, О. В. Полевецька², В. А. Шендеровський³

¹*Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ,
к. фіз.-мат. н., с.н.с., e-mail: kozyrski@ukr.net*

²*Інститут фізики НАН України, Київ, інженер, e-mail: polev.ov@ukr.net*

³*Інститут фізики НАН України, Київ, д.фіз.-м.н., професор, пров.н.с.,
e-mail: schender@iop.kiev.ua*

У планах розбудови структури Української академії наук, заснованої 14 листопада 1918 р., серед невідкладних завдань було створення Фізичного інституту. У положенні «Про Київський державний дослідний фізичний інститут», концептуальні пункти якого розробляв професор Йосип Йосипович Косоногов, в додатку у п. 12 вказано: «Інститут може видавати як періодичні видання (журнали), так і окремі праці».

У березні 1922 р. на Спільному засіданні ВУАН таємним голосуванням дійсним академіком на кафедрі фізики обрано Йосипа Косоногова. Академік-фізик мав радикально змінити статус фізики у ВУАН, він був ученим, здатним перетворювати потенціальну енергію рішень і постанов на творчу енергію організаційних дій. На превеликий жаль, кількома днями пізніше його передчасна смерть позбавила