

5. *Моделирование* в радиолокации. — М.: Сов. радио, 1979.
6. *Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С.* Введение в радиолокационную системотехнику. — М.: Сов. радио, 1971. — С. 19.
7. *Вакман Д.Е., Седлецкий Р.М.* Вопросы синтеза радиолокационных сигналов. — М.: Сов. радио, 1973.
8. *Сиверс А.П., Сулов Н.А.* Основы радиолокации. — М.: Сов. радио, 1956.
9. *Альперович К.С.* Годы работы нал системой ПВО Москвы — 1950—1955. Записки инженера. — М.: НПО “Алмаз”, 2003. — С. 41 (<http://www.vko.ru/books/037-051.pdf>).
10. *Малиновский Б.Н.* История вычислительной техники в лицах (<http://www.lib.ru/MEMUARY/MALINOWSKIJ/0.txt>).
11. Система предупреждения о ракетном нападении (www.vko.ru; http://old.vko.ru/print.asp?pr_sign=archive.2005.25.13_13).
12. *Сколник М.* Введение в технику радиолокационных систем. — М.: Сов. радио, 1965. — С. 675.
13. *Wiesbeck W.* Lecture Script “Radar System Engineering”. — 13th Edition. WS 2006/2007/ Institut für Höchstfrequenztechnik und Elektronik; Universität Karlsruhe. — P. 134 (www.ihe.uni-karlsruhe.de).
14. http://www.radar.04_uwbusis_id01.pdf.

Получено 10.01.2008

В.Г. Горохов

Витоки комп’ютерної революції у розвитку радіолокації

Показано зародження комп’ютерної науки “у лоні” радіолокації, формування базових уявлень радіолокаційної теорії як неklasичної науки (статистичної радіолокації), основ комп’ютерного моделювання спочатку аналогової, а потім й цифрової комп’ютерної техніки, зумовленого потребою керування радіолокаційними станціями у складі зенітно-ракетних, а надалі ракетно-космічних комплексів.

Т.В. Кілючицька

Формування загальної теорії нелінійних коливань школою Л.І. Мандельштама

Показано досягнення академіка Л.І. Мандельштама, його учнів і послідовників у розробці теорії нелінійних коливань.

На початку ХХ ст. набула швидкого розвитку радіотехніка, вивчення процесів в електричних лампах показало, що проходження електричного струму у вакуумі не відбувається за законом Ома (напруга не прямо пропорційна силі струму). Шкідливий коливальний процес в радіотехніці знайшов своє застосування для генерації незатухаючих електромагнітних коливань (автоколивання). Проблеми стійкої генерації незатухаючих коливань, трансформації частоти, стабілізації, примусової синхронізації, модуляції та демодуляції та інші мали бути вирішені за допомогою введення в коливальні системи нелінійних елементів та розв’язання нелінійних дифе-

ренціальних рівнянь, оскільки в суто лінійних коливальних системах не можуть існувати сталі коливальні режими, що не залежать від початкових умов. У результаті поступово в різних галузях науки і техніки, зокрема в акустиці, радіофізиці, фізиці твердого тіла, статистичній фізиці, почала зростати кількість аналогічних проблем, які вимагали швидкого їх вирішення. Теорія лінійних диференціальних рівнянь, до того часу досить добре розроблена, не могла описувати нелінійні процеси, бо в них суттєву роль відігравала нелінійність, абстрагуватись від якої в таких задачах було неможливо. Станом на кінець 20-х років ХХ ст. існували окремі методи роз-

© Т.В. Кілючицька, 2008

в'язання нелінійних задач: метод малого параметру, метод лінеаризації, квазілінійні методи, метод Ван-дер-Поля та ін. Ці методи часто призводили до грубих помилок не тільки кількісного, але і якісного характеру, вони не були обґрунтовані й достатньо розроблені. Зокрема, метод Ван-дер-Поля, як і метод еквівалентної лінеаризації, дозволяли знаходити лише перше наближення, коливання розглядалися або як гармонічні з постійними амплітудами і фазами (стаціонарні режими), або як коливання з повільно змінюваними амплітудами і фазами (процеси становлення). Метод еквівалентної лінеаризації застосовували для визначення амплітуди стаціонарних коливань в електронному генераторі, при дослідженні резонансів поділу частоти, явища асинхронного збудження. Методи Ляпунова—Пуанкаре в їх початковому формулюванні не були простими для застосування. В інженерній практиці застосовувався квазілінійний метод, що полягав в заміні нелінійних елементів еквівалентними лінійними з параметрами, які залежать від амплітуди і, у випадку резонансу, від фази коливань. Строгі математичні методи для розв'язання нелінійних задач радіотехніки застосували у Франції Е. і А. Картани (1925), А. Лъенар (1928). Вони розглянули зв'язок між математичною формою диференціальних рівнянь, які описують дану систему, і фізичними властивостями коливань в ній. Необхідними стають перенесення існуючих методів у теорію коливань, їх систематизація, узагальнення, подальший розвиток і обґрунтування, визначення предмету і задач теорії коливань, тобто розроблення загальної теорії нелінійних коливань. Великий внесок в цьому напрямку був зроблений вченими колишнього СРСР.

Л.І. Мандельштам і М.Д. Папалексі почали займатися проблемою самозбудження коливань в ламповому генераторі в Одесі в 1918—1920 рр. Л.І. Мандельштам бачив необхідність створити, хоча б для простішої моделі, строгу теорію, яка пере-

давала б встановлення коливань з амплітудою, що не залежить від початкових умов.

З 30-х років ХХ ст. прогрес технології, транспортної техніки, машинобудування супроводжувався різким збільшенням робочих швидкостей та інтенсивності динамічних навантажень. Коливальні процеси були покладені в основу численних вібровимірювальних приладів, винаходів технологічного характеру. Впровадження і вдосконалення таких процесів, які є нелінійними, зумовило виникнення різноманітних задач використання нелінійних коливань в техніці.



Л.І. Мандельштам

На Всесоюзній конференції з коливань при Інституті фізики Московського державного університету 12.11.1931 р. Л.І. Мандельштам вперше застосував термін „нелінійні коливання”. Він дав класифікацію систем і процесів з фізичної точки зору та з точки зору диференціальних рівнянь:

„Класифікації тут можуть бути різноманітні. Можна, наприклад, проводити поділ на системи, які мають кінцеве число степенів вільності, в граничному випадку з одним степенем вільності, та степенями, які мають нескінченне число степенів

вільності. ... Перші керуються системою простих диференціальних рівнянь, другі — рівняннями в частинних похідних.

Але можна і треба йти далі й характеризувати системи за типом диференціальних рівнянь, яким вони підкоряються. Наприклад, ми кажемо про лінійні системи чи нелінійні, в залежності від того, лінійні чи нелінійні рівняння, якими вони керуються (описуються)” [1, с. 59].

У цій доповіді Л.І. Мандельштам разом з дослідженням лінійних коливань підкреслює необхідність не тільки розв’язання окремих задач, але створення поряд з лінійною коливальною культурою нової нелінійної коливальної культури, яка містить надійний математичний апарат і фізичні уявлення, адекватні новим задачам, вироблення нелінійної інтуїції.

Саме в школі академіка Л.І. Мандельштама (1879—1944) почалося оформлення науки, що описує поведінку нелінійних систем різноманітної природи, — теорії нелінійних коливань, яка надалі, з розширенням сфер застосування, переросла в нову галузь фізики — фізику нелінійних явищ. Лідер цієї школи Л.І. Мандельштам давав неоднозначну оцінку існуючим методам. Стосовно методу лінеаризації він відзначав: „така „лінеаризація” завжди штучна, рідко буває корисною, нічому не навчає, а іноді й шкідлива” (цит. за [2, с. 10]). Він вказував на помилку, яка виникає при знаходженні умов виникнення коливань в генераторі:

„Відомо з теорії лінійних рівнянь, що якщо збільшувати „від’ємне” затухання, то розв’язки диференціальних рівнянь перестають бути осциляторними. Тоді міркують так: значить настає такий момент, після якого не може бути коливань. Зробити висновок, який процес встановився в нелінійних системах, з поведінки лінійних неможливо” [1, с. 63].

Л.І. Мандельштам значну увагу приділяв методу припасовування, бачив необхідність і можливість його строгого математичного обґрунтування та розроблення, щоб він став працюючим методом фізики і техніки, який можна застосувати до розв’язання найбільш актуальних нелінійних задач. Він відзначав:

„Не можна сподіватися, що математика дасть нам можливість працювати з як завгодно складними характеристиками, треба фундаментально спрощувати задачу, вибирати ту або іншу просту аналітичну апроксимацію. Розбиття ж нелінійної ха-

рактеристики на пряmolінійні ділянки в ряді випадків прямо підказується фізикою” (цит. за [3]). Л.І. Мандельштам вказував на окремі класи задач, де метод припасовування не застосовується, але при відповідному його удосконаленні може виявитися ефективним. У 1927 р. він запропонував двом своїм аспірантам — О.О. Андронову та М.О. Леонтовичу — дві задачі, пов’язані з методом припасовування. Задача, поставлена перед М.О. Леонтовичем, полягала в тому, щоб за допомогою метода припасовування дослідити роботу електромагнітного переривача, причому основна увага була зосереджена на питанні ідеалізації — питанні про незастосовність математичної моделі роботи переривача, яка не враховує самоіндукцію, на що вперше вказав ще Дж. Релей [4, т.1, с. 99—105].

О.О. Андронову треба було дослідити питання стійкості періодичного розв’язку, який отримується методом припасовування, для довільних початкових умов, а потім по можливості підвести під цей метод строгу математичну базу.

У 1927 р. О.О. Андронов захистив дисертацію „Граничні цикли Пуанкаре і теорія коливань”, де вказав, що граничні цикли Пуанкаре — це автоколивання. Її не було надруковано повністю, але стислий зміст відображали дві невеликі статті. Одна з них вийшла 1928 р., а інша 1929 р. у доповідях Паризької академії наук [5]. У цій дисертації О.О. Андронов переніс основи математичного апарату А. Пуанкаре в теорію коливань. Цей апарат є надзвичайно наочний, за його допомогою можна геометрично зобразити будь-який стан динамічної системи.

На основі фундаментальних понять якісної теорії диференціальних рівнянь А. Пуанкаре — понять характеристики, напівхарактеристики, особливої точки — О.О. Андронов запровадив нові означення: поняття траєкторії, напівтраєкторії, стану рівноваги для системи. Він вказав на те, що дане А. Пуанкаре поняття окремої характеристики не повністю визначене, бо не з’ясовано поняття кривої, що задається диференціальним рівнянням [6, с. 371] з метою уточнення цього поняття було введено поняття траєкторії замість поняття характеристики і дано його визначення [7, с. 270].

Крім математичного апарату теорії А. Пуанкаре, школою Л.І. Мандельштама

в теорію коливань перенесені й методи дослідження О.М. Ляпунова. Застосування теорії стійкості руху О.М. Ляпунова стало можливим після доведення О.О. Андроном і О.О. Віттом у 1930 р. нової теореми для з'ясування питання стійкості періодичних розв'язків [8]. Цього ж року вони вперше застосували теорію стійкості О.М. Ляпунова до вивчення питання захоплення в регенеративному приймачі (дослідження стійкості періодичних розв'язків) [9].

О.О. Андроном також перенесені в теорію коливань поняття „біфункційного значення параметра”, „точки біфункції”, „зміни стійкості”. Вперше ці поняття з'явилися 1885 р. в мемуарі А. Пуанкаре про фігури рівноваги небесних тіл, де він розглянув залежність стану рівноваги консервативних систем від параметра в зв'язку з теорією рівноваги рідкої маси, яка обертається. На Першій всесоюзній конференції з коливань, яка відбулася в Москві в листопаді 1931 р., О.О. Андроном стисло, без доказів виклав результати дослідження зв'язку, який існує між теорією залежності стаціонарних режимів катодного генератора від параметрів і теорією біфуркацій А. Пуанкаре [10]. Далі він поширив цю теорію (теорію біфуркацій) на випадок коливальних систем, близьких до лінійних консервативних систем, а також побудував теорію „м'якого” та „жорсткого” збудження коливань [11].

О.О. Андроном в своїй першій праці „Граничні цикли Пуанкаре і теорія коливань” також ввів у теорію нелінійних коливань метод точкових відображень, який американський вчений Дж. Біркгоф зробив основним інструментом теоретичного дослідження динамічних систем [12]. Дж. Біркгоф довів теорему, яка отримала назву „останньої теореми Пуанкаре” і була опублікована 1927 р., про те, що періодичні рухи можуть слугувати основою для вивчення всіх рухів у задачі трьох тіл [13]. У 1930 р. О.О. Андроном та О.О. Вітт встановили відповідність між коливаннями в системах з багатьма степенями вільності та рекурентними рухами Біркгофа.

Результати застосування апарату точкових відображень до нелінійних задач ввійшли в перше видання „Теорії коливань” [14]. У ній були розглянуті простіші моделі маятникових годинників і автоколивання лампового генератора із Z -характеристикою залежності анодного току від напруги на сітці, розв'язання нелінійних задач зводилось до розгляду точкового відображення прямої на пряму. Л.І. Мандельштам побачив і вказав, що праця О.О. Андронова відкриває можливість побудови загальної теорії нелінійних коливань: „Тут ми маємо дійсно адекватний нашим нелінійним задачам математичний апарат, що не містить „лінійних згадувань”, нехай достатньо не розроблений. Спираючись на цей апарат, можна буде створити нові поняття, специфічні для нелінійних систем, можна буде виробити нові керуючі точки зору, які дозволять мислити нелінійно” (цит. за [15, с. 6]).

У 1937 р. О.О. Андроном разом з Л.С. Понтрягіним в праці „Грубі системи” розробили і ввели поняття грубої динамічної системи [16]. Це поняття системи, стійкої у відношенні до малих змін її правих частин. У цій праці була сформульована вимога стійкості за Ляпуновим. О.О. Андроном писав, що рухи, які є реальними коливаннями, повинні бути стійкими у відношенні до малих змін початкових умов. У 1938 р. введено поняття негрубої динамічної системи, для якої малі зміни параметрів приводять до зміни структури розбиття її фазової площини на траєкторії [17, 18]. Крім того, такі терміни, як „стійке положення рівноваги”, „стійкі періодичні та квазіперіодичні рухи”, „стійкість у великому та малому”, були введені О.О. Андроном на основі понять, запропонованих А. Пуанкаре, та понять теорії стійкості руху О.М. Ляпунова. На основі запроваджених понять грубої і негрубої систем О.О. Андроном розширив задачу А. Пуанкаре не тільки як з'ясування можливого характеру і поведінки окремої траєкторії, але і як виявлення властивостей розбиття фазового простору динамічної

системи на траєкторії. О.О. Андронова цікавив не тільки статистичний розгляд структури розбиття фазового простору динамічної системи, але і розгляд змін цієї структури розбиття при зміні самої системи, тобто при зміні функцій, які стоять в правих частинах рівнянь, що описують рух цієї системи і залежать від параметрів системи.

У 1937 р. Л.І. Мандельштам написав передмову до монографії О.О. Андронова, О.О. Вітта, С.Е. Хайкіна „Теорія коливань”, де вказав на принципово нове в розвитку теорії нелінійних коливань, зумовлене застосуванням до нелінійних задач якісної теорії диференціальних рівнянь А. Пуанкаре [15, с. 11]. У зв'язку з перенесенням цієї теорії виникла задача за допомогою геометричної побудови інтегральних кривих, що визначаються диференціальними рівняннями, визначити найбільш характерні, якісні властивості функцій, які характеризують стани і зміни цих станів. У цій книзі О.О. Андронов, О.О. Вітт, С.Е. Хайкін писали, що „якісне інтегрування істотно полегшить кількісне інтегрування, або, точніше, полегшить кількісне розв'язання тих питань, які виникають у фізиці коливань” [15, с. 84].

Однак при застосуванні апарату точкових відображень, якісних методів Ляпунова—Пуанкаре виникали труднощі. Для подолання них у 1931 р. Л.І. Мандельштам і М.Д. Папалексі застосували метод малого параметру в праці про резонанс другого роду, а у 1934 р. використали метод усереднення в системах з двома і більшою кількістю степенів вільності.

У 1934 р. вони також строго математично обґрунтували метод Ван-дер-Поля, який для частинних випадків було строго математично обґрунтовано 1930 р. О.О. Андроновим та О.О. Віттом [9]. Л.І. Мандельштам та М.Д. Папалексі окреслили можливості його застосування і показали, що цей метод в окремому випадку становить різновид методу малого параметру.

Починаючи з цього періоду з'являється багато робіт, присвячених не тільки роз-

в'язанню конкретних задач за допомогою методу малого параметру, а й подальшому його розвитку й обґрунтуванню. Так, в 30-х роках ХХ ст. метод малого параметру застосували до дослідження процесів встановлення неперіодичних режимів у системах, близьких до лінійних консервативних, Л.І. Мандельштам, М.Д. Папалексі та ін.; до дослідження нелінійних систем, близьких до консервативних, Л.С. Понтрягін та ін.; до дослідження неконсервативних систем спеціального типу, близьких до лінійних, — О.О. Вітт, Б.В. Булгаков; до систем, близьких до лінійних систем з періодично змінюваними параметрами спеціального типу, — Г.С. Горелік, Л.І. Мандельштам, С.М. Ритов. Виходячи з існування „періодичних розв'язків другого роду” А. Пуанкаре з періодом, кратним періоду діючої сили, на основі методу малого параметру А. Пуанкаре Л.І. Мандельштам та М.Д. Папалексі встановили можливість збудження і підтримання в регенованої системі, яка працює в певному режимі та знаходиться під дією гармонічної ЕРС, коливань кратного періоду, що відповідають розв'язку другого роду, відкрили резонанс n -го роду. Теорія таких явищ охоплює і синхронізацію в обертоні, явище затухання коливань, автопараметричні та дробні резонанси, комбінаційні резонанси, явище асинхронного збудження [19, 20]. Л.І. Мандельштамом та М.Д. Папалексі розроблена теорія параметричної генерації коливань періодичною зміною параметра — ємності або самоіндукції в системах з малою глибиною модуляції і малою нелінійністю [21].

Тісний зв'язок О.О. Андронова зі школою Л.І. Мандельштама зберігся і після 1931 р., коли О.О. Андронов переїхав у Горький (тоді Нижній Новгород). Тут він створив наукову школу, в якій за його запрошенням працювали Г.С. Горелік, С.М. Ритов та інші представники школи Л.І. Мандельштама. Учні Л.І. Мандельштама, в першу чергу О.О. Вітт, С.Е. Хайкін, Г.С. Горелік, С.М. Ритов та інші, взя-

ли участь в розробці методів і застосуванні їх до актуальних задач, що було запропоновано О.О. Андроновим. Л.І. Мандельштам і М.Д. Папалексі застосували методи Ляпунова—Пуанкаре до дослідження питання щодо існування „порогу” захоплення, що мало практичне значення. Цю задачу раніше досліджував Ван-дер-Поль. На основі цієї задачі О.О. Вітт та С.Е. Хайкін розробили новий спосіб дослідження інтенсивності полів радіостанцій. К.Ф. Теодорчик та С.Е. Хайкін перенесли їх результати в акустику і розробили новий спосіб вимірювання звукових полів. Метод малого параметру застосували С. Стрелков (1935), О. Вітт (1937), Г. Горелік (1939) до задачі про стабілізацію частоти, теорії генераторів змінного струму, до розв’язання задач, які набули актуальності у зв’язку з розвитком техніки дуже великих частот. Ці задачі описуються системами з розподіленими параметрами (нелінійні задачі в частинних похідних). Поряд з випадками, коли параметри змінюються з періодом, порівняним за порядком величини з власними періодами системи, С.М. Ритовим у 1938 р. проаналізовано випадок, коли період зміни параметрів системи великий. Були досліджені питання, що стосуються поведінки регенеративної системи, як недозбудженої, так і самозбудженої під дією зовнішньої ЕРС. Для практично важливих випадків параметричного генерування змінних струмів методів було недостатньо. Зокрема, величина потужності та ККД параметричних генераторів зростають з величиною глибини модуляції параметра, тому ні затухання, ні величину $\omega^2 - \omega_0^2$ не можна вважати малими. Це привело Л.І. Мандельштама у 1945 р. до розвитку нової форми метода малого параметру, де, згідно з А. Пуанкаре, вихідним наближенням є періодичний розв’язок деякого лінійного диференціального рівняння з періодичними коефіцієнтами.

Таким чином, в результаті прийняття нового якісного геометричного підходу до коливальних процесів школою Л.І. Мандельштама закладено фунда-

мент зовсім нової фізичної дисципліни — загальної теорії коливань, яка стоїть на межі фізики і математики, зі своїми поняттями, положеннями, термінологією, математичним апаратом, методами оцінки процесів, які протікають в динамічній системі.

Л.І. Мандельштам казав: „Можна без перебільшення сказати, що майже немає тієї галузі науки, в якій коливання не відігравали тієї чи іншої ролі, не кажучи про те, що ряд галузей фізики і техніки повністю базується на коливальних явищах” (цит. за [14, с. 9]). Він розумів вчення про коливання дуже широко. Він казав, що поряд з „національними” мовами механіки, акустики, оптики, електродинаміки існує „інтернаціональна мова теорії коливань”, яка охоплює всі ці галузі й дозволяє, маючи інтуїцію в одній з них, легко розібратися в інших. В останні роки свого життя, зокрема у 1944 р., Л.І. Мандельштам висловив припущення, що вчення про коливання зіграло першорядну роль в розвитку всієї фізики і що головні фізичні відкриття, починаючи з відкриття Коперніка, були коливальними. З цієї широкої точки зору всі праці Л.І. Мандельштама відносяться до теорії коливань [22, с. 401—403]. Крім того, Л.І. Мандельштам підкреслював, що загальні закономірності, з якими має справу теорія нелінійних коливань, не можна вважати суто математичними: „Оскільки ви маєте справу з рівняннями головним чином диференціальними, то з певної точки зору все це — математика. Але не це головне. Насамперед саме фізика вчить нас як допитувати диференціальні рівняння. У теорії коливань математичний образ, наприклад, граничний цикл, має надзвичайно наочний не тільки геометричний, але й фізичний зміст... До того ж ця фізична наочність і інтуїція може бути достатньо розгалуженою і багатою і може спиратися на радіотехнічний, електротехнічний, оптичний і тому подібний матеріал” (цит. за [23, с. 449]). Коливальний підхід — найбільш суттєва ознака, що характеризує теорію

коливань і відокремлює її від інших дисциплін у розумінні Л.І. Мандельштама. „Що це за ознаки, за якими виділяють вчення про коливання?” Л.І. Мандельштам підкреслює, що ці ознаки принципово відрізняються від тих, за якими розділяють фізику на оптику, акустику, електрику і магнетизм і т.п. „Ми відокремлюємо коливання не за ознакою фізичних явищ, які ми однаково сприймаємо, а за формою закономірностей. А історія і сучасна ситуація в точному природознавстві показують, що ці закономірності фактично бувають однаковими в найрізноманітніших областях, що ми маємо справу з ізоморфізмом закономірностей” (цит. за [23, с. 448]).

Для остаточного виділення нелінійних коливань в окрему теорію необхідно було визначення задач, предмета досліджень. Задачі були поставлені. Формування предмету відбулося не дуже швидко. Л.І. Мандельштам відзначає: „Означення в науці — одна із найважливіших речей. Намагання дати точне і повне визначення якої-небудь області науки зазвичай закінчуються поразкою. Взагалі виникає питання, чи доцільно відокремлювати колючою проволокою жорстких визначень окремі галузі науки і тим самим ускладнювати їх взаємне проникнення? Я не вважаю, що слід гняти за такого роду визначеннями. Зате є досить бажаним виділити ті керівні точки зору, які дозволяють нам об'єднати цілий клас проблем. Знаходження таких керівних точок зору річ суттєва. Вони дозволяють нам дати струнку, цілісну теоретичну концепцію, вони дозволяють зв'язати в єдине ціле проблеми, які здаються різнорідними, дають можливість надати планомірний характер подальшим дослідженням... Нас цікавлять в більшості випадків не коливання самі по собі, а дія коливальних процесів на системи, взаємодія різних коливальних систем між собою” [1, с. 54].

Так, Л.І. Мандельштам вважав: „немає сумніву, що те, що ми називаємо сьогодні

коливальними процесами, дуже різноманітне. Але отримало розвиток вчення про коливання, мабуть, на понятті — сьогодні воно є частинним поняттям в області коливань — періодичних або приблизно періодичних ... процесів” [22, с. 409]. Г.С. Горелік стосовно цього питання писав: „Було б даремною тратою праці провести чітку межу між коливаннями і „неколиваннями”. Навряд чи можна провести розумне розмежування, що дозволяє сказати, чи є, наприклад, процес, який показаний на малюнку 1, коливанням чи ні” [24, с. 25]. С.Е. Хайкін писав у 1962 р. „Загальна риса всіх коливальних рухів полягає в тому, що вони являють собою рухи, які багаторазово повторюються або приблизно повторюються через певні проміжки часу” [25, с. 578]. У 1972 р. Ю.І. Неймарком запропонована формалізація поняття коливальної закономірності. Під коливальним явищем розуміють те, що пов'язане з фактом руху, який встановився, або те, що зв'язано з процесом переходу від одного руху, що встановився, до іншого [25, с. 159]. Були відокремлені три типи коливальних закономірностей, сформульовані їх властивості, побудовані математичні моделі.

Таким чином, для наукової школи Л.І. Мандельштама властиві глибоке проникнення в фізику коливань, якісне їх вивчення, коливальний підхід до явищ різної природи, дослідження усїєї сукупності явищ, можливих у динамічній системі при будь-яких початкових умовах, геометризація цього уявлення, вивчення перетворень, що мають місце у фазовому просторі при зміні параметрів динамічної системи. Л.І. Мандельштам казав: „Спільність коливальних процесів, їх різноманітність і водночас специфічна своєрідність відіграють суттєву роль у встановленні внутрішніх зв'язків між різнорідними, на перший погляд, явищами” (цит. за [15, с. 9]). Отже, можна вважати, що Л.І. Мандельштам завершив розпочатий Дж. Релеєм процес виділення вчення про коливання в окрему наукову дисципліну. Працями Л.І. Мандельшта-

ма і його учнів були створені та обґрунтовані якісні топологічні уявлення щодо різних рухів динамічних систем, метод дослідження стійкості станів рівноваги і періодичних рухів, метод поетапного розгляду зі „зшиванням” окремих етапів руху і різні модифікації цих методів тощо.

О.О. Андронов, як і його вчитель Л.І. Мандельштам, у 1931 р. також заснував школу з теорії нелінійних коливань, ядро якої створили співробітники Фізико-технічного інституту при Горьківському державному університеті, де він працював. Школа О.О. Андронова виникла через шість років після початку формування школи Л.І. Мандельштама. Мета досліджень в школі О.О. Андронова — побудова теорії коливань, яка базується на апараті якісної теорії диференціальних рівнянь А. Пуанкаре, апараті точкових відображень, на теорії стійкості руху О.М. Ляпунова та на уявленнях Дж. Біркгофа про всі можливі типи поведінки динамічної системи. У школі О.О. Андронова досліджувалися в основному сильно нелінійні системи, тобто системи, в яких нелінійність відіграє фундаментальну роль, паралельно розвивалися два напрямки досліджень: побудова теорії нелінійних коливань та розроблення загальної теорії динамічних систем. О.О. Андронов виділив клас нелінійних задач, які можуть бути розглянуті як кусково-лінійні й при дослідженні яких цей метод стає більш ефективним. Поєднавши метод припасовування і теорію точкових перетворень Пуанкаре—Брауера—Біркгофа, О.О. Андронов разом з А.Г. Майером, Г.С. Гореліком, М.М. Баутінім дослідив дві групи нелінійних задач з теорії автоматичного регулювання: 1) вплив сил сухого тертя на процес прямого і непрямого регулювання; 2) вплив нелінійних характеристик сервомоторів на процес регулювання.

При розв'язанні цих задач метод припасовування, який раніше слугував для знаходження періодичних розв'язків кусково-лінійних систем, об'єднаний з

методом січної поверхні А. Пуанкаре, утворив математичну базу теорії точкових відображень. Так, кусково-лінійна апроксимація нелінійних характеристик дозволяла розбити фазовий простір динамічної системи на області, в кожній з яких поведінка динамічної системи може бути описана системою лінійних диференціальних рівнянь. При переході відображуючої точки з однієї області фазового простору в іншу отримані розв'язки „склеюються” („припасовуються”) за неперервністю, як це робилося в методі припасовування. При цьому була отримана відповідь на старе питання Л.І. Мандельштама: дослідження стійкості періодичних розв'язків зводиться до дослідження системи рівнянь в кінцевих різницях відомими на той час методами. За допомогою метода точкових відображень описані та вивчені властивості кусково-лінійних систем з ударними взаємодіями, системи зі змінною структурою, вивчені нові типи рухів, можливих в таких системах, нові типи станів рівноваги і періодичних рухів, нові типи біфуркацій. Загальнотеоретичні основи методу точкових відображень в теорії нелінійних коливань були викладені на засіданні Відділення фізико-математичних наук АН СРСР О.О. Андроновим у 1944 р. у доповіді „Теорія точкових перетворень Пуанкаре—Брауера—Біркгофа та теорія нелінійних коливань”. Метод точкових відображень сприяв правильному математичному опису часових ходів. О.О. Андроновим та Ю.І. Неймарком у 1946 р. було проведено дослідження годинників як нелінійної коливальної системи з двома степенями вільності. Найбільш повне дослідження динаміки часових пристроїв виконано в працях учня О.О. Андронова М.М. Баутіна, які є продовженням і розвитком коливального підходу в теорії годинників, початок якого було покладено в монографії „Теорія коливань” (1937). М.М. Баутіну вдалося також розв'язати поставлену у 1944 р. Л.І. Мандельштамом задачу про причини відмінності точності

ходу для годинників з маятником (годинників Галілея—Гюйгенса).

Отже, в школі О.О. Андронова застосовувалися геометричний підхід (досліджувалася структура розбиття фазового простору динамічної системи на траєкторії), параметричний підхід (досліджується залежність зміни структури розбиття фазового простору на траєкторії від параметрів системи), коливальний підхід (досліджуються загальні закономірності динамічних процесів у системах довільної природи). Сукупність геометричного і параметричного підходів характеризує школу О.О. Андронова, а коливальний підхід — насамперед школу Л.І. Мандельштама. Ця сукупність підходів до дослідження різноманітних рухів динамічної системи є

нелінійним коливальним мисленням в розумінні Л.І. Мандельштама та О.О. Андронова. Напрямок розвитку теорії нелінійних коливань в школі Л.І. Мандельштама і школі О.О. Андронова називають московсько-горьківським.

Паралельно з цими методами М.М. Криловим та його учнем М.М. Боголюбовим був розвинутий новий метод дослідження нелінійних коливань, в основу якого покладено побудову асимптотичних розкладів, створено нову галузь математичної фізики — нелінійну механіку. Із середини 40-х років ХХ ст. відбувається подальший розвиток методів теорії коливань, їх строге обґрунтування і широке застосування у різних галузях природознавства й техніки.

1. *Мандельштам Л.И.* Вопросы электрических колебаний систем и радиотехники // Полн. собр. тр. — 1948. — Т. 3. — С. 52—83.
2. *Андронов А.А., Витт А.А.* Некоторые исследования в области нелинейных колебаний, проведенные в СССР, начиная с 1935 г. // Успехи физ. наук. — 1947. — Т. 33, вып. 7. — С. 3—19.
3. *Андронов А.А.* Мандельштам и теория нелинейных колебаний // Академик Л.И. Мандельштам: К 100-летию со дня рождения. — М.: Наука, 1979. — С. 312 с.
4. *Стретт Д.В.* Теория звука. — М.; Л.: Гостехиздат, 1955. — Т. 1.— 503 с.; 1957. — Т.2. — 475 с.
5. *Андронов А.А.* Предельные циклы Пуанкаре и теория колебаний // Собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — С. 41—43.
6. *Андронов А.А.* Примечания // А. Пуанкаре. О кривых, определяемых дифференциальными уравнениями. — М.: Гостехтеориздат, 1947. — С. 371—390.
7. *Леонтович Е., Майер А.Г.* Общая качественная теория // Там же. — С. 267—300.
8. *Андронов А.А., Витт А.А.* Об устойчивости по Ляпунову // Журн. прикл. физики. — 1930. — Т. 3, вып. 5. — С. 373—374.
9. *Андронов А.А., Витт А.А.* К математической теории захватывания // Там же. — 1930. — Т. 7, вып. 4. — С. 3—17. — То же. Андронов А.А. Собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — С. 70—84.
10. *Андронов А.А.* Математические проблемы теории автоколебаний // Собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — С. 85—124.
11. *Андронов А.А., Любина А.Г.* Применение теории Пуанкаре о „точках бифуркаций” и „смене устойчивостей” к простейшим автоколебательным системам // Журн. эксперим. и теорет. физики. — 1935. — Т. 5, вып. 3/4. — С. 296—306. — То же. Андронов А.А. // Собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — С. 125—139.
12. *Андронов А.А.* Предельные циклы Пуанкаре и теория колебаний // Собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — С. 32—33.
13. *Биркгоф Дж.Д.* Динамические системы. — М.: Гостехиздат, 1940. — 320 с.
14. *Андронов А.А., Хайкин С.Э.* Теория колебаний. — М.; Л.: ОНТИ, 1937. — 519 с.
15. *Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э.* Теория колебаний. — М.: Физматгиз, 1959. — 913 с.
16. *Андронов А.А., Понтрягин Л.С.* Грубые системы // Докл. АН СССР. — 1937. — Т. 14, № 5. — С. 247—252. — То же. Андронов А.А. Собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — С. 183—187.
17. *Андронов А.А., Леонтович Е.Н.* К теории изменения качественной структуры разбиения плоскости на траектории // Докл. АН СССР. — 1938. — Т. 21, № 9. — С. 247—252. — То же. Андронов А.А. Собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — С. 217—221.
18. *Андронов А.А., Леонтович Е.Н.* Некоторые случаи зависимости предельных циклов от параметров // Андронов А.А. Собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — С. 188—216.
19. *Мандельштам Л.И., Палалекси М.Д.* О явлениях резонанса n -го рода // Л.И. Мандельштам. Полное собрание трудов. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — Т. 3. — С. 113—116.
20. *Мандельштам Л.И., Палалекси М.Д.* О установлении колебаний при резонансе n -го рода // Там же. — 1947. — Т. 2. — С. 117—129.

21. *Мандельштам Л.И., Папалекси М.Д.* Об обосновании одного метода приближенных решений дифференциальных уравнений // Там же. — 1947. — Т. 2. — С. 130—138.
22. *Мандельштам Л.И.* Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. — М.: Наука, 1972. — 440 с.
23. *Андронов А.А. Л.И.Мандельштам и теория нелинейных колебаний* // Собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — С. 441—472.
24. *Горелик Г.С.* Колебания и волны. — М.: Физматгиз, 1959. — 572 с.
25. *Хайкин С.Э.* Физические основы механики. — М.: Наука, 1971. — 752 с.
26. *Неймарк Ю.И.* Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. — М.: Наука, 1972. — 472 с.

Одержано 22.04.2008

Т.В. Килочицкая

Формирование общей теории нелинейных колебаний школой Л.И. Мандельштама

Показаны достижения академика Л.И. Мандельштама, его учеников и последователей в разработке теории нелинейных колебаний.

О.В Романець

Київський університет як осередок генетичних досліджень у першій половині ХХ ст.

Показано розвиток наукових досліджень та підходів до викладання генетики в Київському університеті в першій половині ХХ ст. Здійснено аналіз навчальної літератури, навчальних планів та програм. Детально висвітлено вплив сесії ВАСГНІЛ 1948 року на стан генетичних досліджень та викладання генетики в Київському університеті.

Вже в перші роки після становлення генетики як науки, тобто на початку ХХ століття, Київський університет як один з провідних вищих навчальних закладів України став форпостом у здійсненні генетичних досліджень та викладанні генетики. Розвиток генетики в Київському університеті висвітлено у працях Д.М.Голди, Г.Д.Бердишева [1, 2], однак детальну розробку проблеми на основі першоджерел здійснено не було. Джерельною базою для опрацювання даної теми нами є матеріали фонду Київського університету, котрі знаходяться в Київському міському державному архіві.

Передісторію викладання генетики в Київському університеті становили ок-

ремі теми в курсах природничих наук, котрі викладались на фізико-математичному відділенні. З-поміж десяти імператорських університетів у Росії (Варшавського, Казанського, Київського, Миколаївського у м. Саратові, Московського, Новоросійського, Санкт-Петербурзького Томського, Харківського, Юр'ївського) Університет Святого Володимира обіймав поважне місце. Це виявлялось у належному фінансуванні (743150 крб. з 8368368 крб., виділених на усі університети), зведенні нових навчальних корпусів тощо. На фізико-математичному факультеті навчальні курси поділялись на два „розряди”: розряд природничих та розряд математичних наук. Викладання природничих дис-

© О.В. Романець, 2008