

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКБИБЛИОГРАФИЯ**КЛАССИЧЕСКАЯ КНИГА ПО ТЕОРИИ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ**

А. А. Андронов, А. А. Витт и С. Э. Хайкин, «Теория колебаний», издание второе, переработка и дополнения Н. А. Железцова, Физматгиз, М., 1959. 915 стр. Цена 31 руб. 50 к.

Судьба этой книги необычна. Вскоре после выхода в свет первого издания\*) в 1937 г. весь ее, не малый по тому времени, тираж (3000 экз.) был раскуплен, и уже в 1938 г. книга стала библиографической редкостью. Несмотря на это, интерес к книге и ее известность быстро росли, экземпляры книги переходили из рук в руки, библиотечные экземпляры были всегда заняты—книга стала вскоре основным пособием для всякого, избравшего теорию колебаний своей специальностью. Целое поколение физиков и инженеров, работающих в области общей теории колебаний и различных ее приложений (радиофизика, вибрация, подпрессоривание, автоматическое регулирование и т. д.), воспитывалось на этой книге и выросло, проникнутое ее идеями.

Все более настоятельные требования срочно выпустить второе издание книги раздававшиеся еще в 1938—1939 г., стали особо нетерпеливыми в послевоенные годы когда благодаря успехам радиолокации и автоматики с поразительной быстротой расширялась сфера приложений теории колебаний. Несмотря на то, что за границу проникло лишь небольшое число экземпляров этой редкой книги, ссылки на нее, как на первоисточник нового направления в теории колебаний, начали появляться еще задолго до войны, после же войны она приобрела мировую известность. В 1947 г. в США вышло в свет краткое изложение книги, выполненное Н. Минорским\*\*), а в 1949 г. вышел в свет полный перевод книги\*\*\*) под редакцией С. Лешпеца. Этот перевод ожидала судьба русского подлинника. Книга была быстро раскуплена. И все же с этого момента даже для русского читателя достать английский перевод было легче, чем русский подлинник.

Несмотря на все это, второе издание не выходило в свет. Препятствовало этому не издательство—предложения переиздать книгу делались неоднократно, а... авторы. Одного из них—А. А. Витта—не было в живых уже к моменту выхода в свет первого издания. Второй из авторов—С. Э. Хайкин—не работал более в области общей теории нелинейных колебаний. И только один из трех авторов—А. А. Андронов—возглавлял большую группу горьковских физиков и математиков, продолжавших развивать теорию нелинейных колебаний в направлении, намеченном в книге. Естественно, что переиздание книги было возможно лишь при согласии А. А. Андропова, а он его настойчиво не давал. У него был для этого ряд веских оснований. Теория нелинейных колебаний быстро развивалась в эти годы, каждый год приносил новые методы, новые факты, новые интересные, неизвестные ранее области приложений—достаточно напомнить, что теория автоматического регулирования как необъятная сфера приложения теории нелинейных колебаний была «открыта» физиками лишь после войны. А. А. Андронов, более чем кто-либо другой, видел, что многое в книге устарело или старится на глазах и что в годы быстрого прогресса теории нелинейных колебаний переиздать книгу—значит по существу написать ее заново. При том отношении к печатному слову, которое было свойственно А. А. Андронову и которое он культивировал среди своих учеников и сотрудников, такая работа требовала нескольких лет. Последние же восемь лет жизни А. А. Андропова были омрачены тяжелой болезнью, и он

\*) А. А. Андронов и С. Э. Хайкин, Теория колебаний, часть первая, ОНТИ НКТП СССР, 1937 г.

\*\*) N M i n o r s k y, Introduction to nonlinear mechanics, I. W. E d v a r d s, Ann Arbor, Michigan, 1947.

\*\*\*) A. A n d r o n o v and C. C h a i k i n, The Theory of Oscillations, Princeton Univ. Press, 1949.

прекрасно знал счет оставшимся годам. Имел ли он, всегда находившийся в центре научных исканий горьковских физиков и отдававший им себя всего, право затратить значительную часть оставшегося времени на написание монографии? Мог ли он, при тех приемах коллективного научного творчества, которые культивировались среди горьковских физиков, отвлекать в эти оставшиеся годы часть своих сотрудников на работу по воссозданию книги?

А. А. Андронов отвечал на эти вопросы безусловно отрицательно.

В свете этой необычной истории книги понятно, какую ответственность взяли на себя ученики и сотрудники А. А. Андропова\*), решив после его смерти подготовить второе издание «Теории колебаний». Они приняли при этом единственно правильное решение: не исключая почти ничего из основного текста первого издания, а лишь слегка исправляя и обновляя его, дополнить книгу большим числом новых параграфов, написанных в стиле книги, но излагающих новые идеи, результаты и примеры. Этот план переработки книги неизбежно приводил к увеличению объема (первое издание имело 32,5, а второе—57,25 печатных листов). Но зато он не нарушал авторского замысла книги и ставшего привычным для всех нас, выросших на этой книге, «концентрической» манеры изложения материала, при которой одни и те же идеи постепенно раскрываются рассмотрением все более сложных случаев, а примеры играют не меньшую роль, чем общая теория.

Второе издание книги содержит десять глав, три дополнения и предисловие к первому изданию, написанное академиком Л. Мандельштамом.

Глава I посвящена линейным системам с одной степенью свободы. Рассмотрение простейших систем такого рода используется для того, чтобы познакомить читателя с основными идеями качественного рассмотрения всей совокупности возможных движений на фазовой плоскости.

Консервативным нелинейным системам с одной степенью свободы посвящена глава II. В ней устанавливается чрезвычайно наглядное соответствие между кривой, характеризующей изменение потенциальной энергии, и протеканием фазовых траекторий. В последнем параграфе этой главы приведены элементарные основы теории интегральных инвариантов и иные общие свойства консервативных систем, а также в качестве интересного и необычного примера консервативной системы рассмотрен пример Вольтерра о сосуществовании двух видов рыб в одном водоеме.

В главе III впервые читатель знакомится с основными свойствами и фазовыми портретами\*\*) неконсервативных систем.

После краткого рассмотрения свойств диссипативных систем читатель на двух классических примерах (ламповый генератор с  $Z$ -характеристикой и часы) знакомится с возможностью возникновения незатухающих колебаний в нелинейных системах, не подверженных внешним периодическим воздействиям (т. е. в автономных системах). Здесь в первый раз в книге вводится термин «автоколебание».

Глава IV посвящена вырожденным динамическим системам первого порядка (или, как говорят иногда, системам с  $1/2$  степенью свободы). Вводится понятие о «фазовой прямой» и показывается, что периодические движения возможны даже в простейших нелинейных системах такого рода. В этой главе читатель впервые знакомится с задачей об определении зависимости характера возможных движений (т. е. фазового портрета) от параметров. В качестве основного примера рассматривается мультивибратор с одной  $RC$ -цепью.

Все эти основные понятия развиваются и обобщаются в главе V на системы с одной степенью свободы. В этой главе впервые вводится понятие о точечных преобразованиях и излагаются некоторые общие методы определения топологической структуры фазового портрета (индексы Пуанкаре, признаки отсутствия замкнутых траекторий, исследование поведения фазовых траекторий в бесконечности и т. д.) и оценки месторасположения предельного цикла.

Глава VI имеет в основном математический характер. Цель ее—вести читателя в основы качественной теории дифференциальных уравнений Пуанкаре и развития этой теории главным образом в трудах горьковских математиков. Наиболее важным для физики колебаний является понятие о грубых системах, которое вводится в этой главе, т. е. о системах, у которых топологическая структура фазового портрета не меняется при малом изменении параметров.

Специальному классу динамических систем, которым адекватно рассмотрение фазовых траекторий не на плоскости, а на цилиндрических поверхностях, посвящена глава VII.

\*) Хотя общие решения о переиздании, его план и основные идеи обсуждались в Горьком коллективно, главная часть работы по подготовке второго издания была выполнена Н. А. Железцовым и, частично, Е. А. Леонтович-Андроновой.

\*\*) Термин «фазовый портрет», звучащий вначале почти жаргонно, прочно вошел в жизнь как очень красочное обозначение для всей совокупности фазовых траекторий.

В главе VIII подробно изучаются кусочно-линейные динамические системы. Основным аппаратом для их исследования служит метод точечных преобразований, а основные примеры берутся из задач теории автоматического управления.

Количественным методом исследования нелинейных систем с одной степенью свободы посвящена глава IX. В ней развиваются известные методы Ван-дер-Поля и Пуанкаре для рассмотрения систем томсоновского типа.

Последняя глава X посвящена общей теории разрывных колебаний. Краткие сведения о разрывных колебаниях, данные еще в главе IV, существенно обобщаются и развиваются. Рассматривается большое число механических и главным образом электрических примеров разрывных систем.

Дополнения содержат основные теоремы теории дифференциальных уравнений, элементарные сведения о применении электронного осциллографа для наблюдения и записи фазовых траекторий и справочные тригонометрические формулы.

Если собрать воедино разбросанный по всей книге материал, которым второе издание отличается от первого, то четко вырисовываются следующие его черты: значительно углублена теория разрывных колебаний, уточнены физические факты, связанные с гипотезой скачков и с колебаниями вырожденных динамических систем; колебания кусочно-линейных систем рассматриваются теперь в аспекте и в терминах теории точечных преобразований, развитой в послевоенных работах горьковской школы; расширено и усовершенствовано изложение аппарата качественной теории дифференциальных уравнений и изучение качественной картины возможных взаимных расположений особых точек, предельных циклов, сепаратрис; значительно расширено рассмотрение фазовых портретов на цилиндре и введено рассмотрение фазовых портретов на многolistных поверхностях; значительно увеличено число примеров, причем помимо радиотехнических и обычных механических примеров введены примеры из области автоматического регулирования и управления; существенно развито изложение количественных методов исследования нелинейных систем томсоновского типа (систем, близких к линейным гармоническим)—методов Ван-дер-Поля и Пуанкаре.

Остановимся несколько подробнее на каждом из этих разделов.

Вопрос о скачках возникает всякий раз, когда дифференциальные уравнения задачи упрощены за счет пренебрежения членами, содержащими старшие производные. Как бы малы ни были коэффициенты при этих членах, влияние их существенно на тех этапах движения, где значения старших производных велики. Поэтому уменьшение порядка уравнения в ряде случаев приводит к уравнениям, которые могут описать движение, лишь если доопределять задачу условиями мгновенных скачков, заменяющих движения на этапах, где влияние опущенных старших производных существенно. В первом издании книги этот круг вопросов рассматривался вскользь. Последующие работы, главным образом горьковской школы, продвинули вперед понимание как физики явлений, так и связанных с ним математических вопросов. Эти результаты включены во второе издание. Им придана форма стройной теории, которая излагается во вновь написанной последней главе книги. По поводу этой главы уместно сделать следующее методическое замечание. Вся книга посвящена системам с одной степенью свободы, т. е. дифференциальным уравнениям не выше второго порядка. В последней же главе ряд фактов излагается применительно к уравнению произвольного порядка, т. е. трактуется в терминах не 2-мерного, а  $n$ -мерного фазового пространства.

Наиболее выдающиеся результаты горьковской школы в области теории колебаний в послевоенный период связаны с привлечением аппарата теории точечных преобразований к решению колебательных задач и с пониманием причисловывания как точечного преобразования поверхности в себя. До сих пор не было опубликовано работ, специально посвященных изложению этого аппарата применительно к нуждам теории колебаний. Во втором издании рецензируемой книги делается первая попытка такого рода. Системы второго порядка не дают достаточного материала для демонстрации силы новых идей, но все, что можно сделать для пояснения этих идей в пределах систем второго порядка, сделано в книге. Идея точечных преобразований систематически проводится не только в специально посвященной ей главе, но и во всех остальных главах.

Уже в первом издании книги раздел, посвященный общему изучению возможных топологических структур фазового портрета, выделялся среди остального материала; чтение его требовало от читателя больших знаний в области качественной теории дифференциальных уравнений и лучшей общей подготовки. Этот раздел во втором издании значительно дополнен Е. А. Леонтович-Андроновой. Он содержит сейчас достаточно полную картину возможных разбиений фазовой плоскости и возможных сосуществований циклов, особых точек и сепаратрис. Основное для приложений понятие о «грубой системе» излагается теперь с должной полнотой. Но за эту полноту уплачена немалая цена: чтение этих разделов требует большей подготовки. Быть может, следовало значительную часть этого раздела набрать петитом.

Первое издание книги, помимо рассмотрения фазовой плоскости, включало лишь очень краткое рассмотрение траекторий на цилиндрической поверхности. Во втором издании рассмотрение на цилиндре расширено и, что важнее всего, введено рассмотрение траекторий на многолистной фазовой плоскости. Возникшая в послевоенные годы, в связи с теорией часов и релейных систем, идея рассматривать многолистные фазовые портреты оказалась очень удобной для многих технических задач.

К задачам такого рода прежде всего относятся задачи автоматического регулирования. Именно в области автоматизации теория колебаний нашла в послевоенные годы широкое поле для приложений своих методов. Пожалуй, можно без преувеличения сказать, что автоматика стала для теории колебаний теперь тем, чем была для нее на первых порах радиотехника. В связи с этим включение во второе издание «Теории колебаний» подробно разобранных примеров из области автоматического управления—одна из наиболее интересных особенностей второго издания.

Наконец о количественных методах, т. е. о методах малого параметра типа Ван-дер-Поля, Пуанкаре и т. д. Хотя сам А. А. Андронов и его ученики немало сделали для развития этих методов, в общем методы эти явно не в духе горьковской школы. Поэтому в первом издании книги они излагались кратко. Во втором издании материал соответствующего раздела существенно дополнен, но все же остается общее впечатление о том, что весь этот раздел выпадает из плана книги. Основная идея книги—глубокое проникновение в физику колебаний, умение извлечь максимум из качественного рассмотрения задачи и точное решение задач, когда они корректно поняты и поставлены—эта основная идея не пронизывает главу IX, посвященную исследованию системы томсоновского типа методами малого параметра.

Наконец, последнее замечание. В первом издании книги после названия было напечатано «часть первая». Это было обещанием выпустить книгу, посвященную неавтономным системам и системам с многими степенями свободы. Во втором издании слова «часть первая» опущены. Почему? Разве не оставил А. А. Андронов после себя сильную школу, которой мы вправе гордиться? Разве обещание, данное авторами, из которых двоих нет в живых, а третий работает в иной области, не обязывает ко многому их учеников и сотрудников?

Издание не закончено и закончить его, может быть, не торопливо, но основательно—дело чести горьковских физиков.

*М. А. Айзерман*