

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Проект «Научное наследие России»

МОИСЕЕВ
Никита Николаевич

Москва 2009

Содержание

<i>Краткая биография Н.Н. Моисеева</i>	<i>1</i>
<i>Работы Н.Н. Моисеева по гидродинамике и механике</i>	<i>5</i>
<i>Работы Н.Н. Моисеева по численным методам оптимального управления</i>	<i>13</i>
<i>Работы Н.Н. Моисеева, ориентированные на экономические и другие приложения</i>	<i>21</i>
<i>Работы Н.Н. Моисеева по методологии математического моделирования сложных управляемых систем</i>	<i>25</i>
<i>Работы Н.Н. Моисеева по глобальной экологии</i>	<i>28</i>
<i>Концепция универсального рационализма и публицистика Н.Н. Моисеева</i>	<i>31</i>

Краткая биография Н.Н. Моисеева

Научное наследие Никиты Николаевича Моисеева обширно и разнообразно. За пятьдесят с лишним лет жизни в науке он совершил эволюцию от прикладных, можно сказать инженерных, исследований к исследованиям в теоретической гидродинамике и механике, от них – к проблемам теории управления, к проблемам глобальной экологии и, наконец, к философскому осмыслению роли естественных и гуманитарных наук в познании механизмов коэволюции природы и общества.

Наука активно влияла на перемены XX века, эти перемены отразились на самой науке, и на отношении к ней общества. Редко такого рода перемены столь ярко отражаются в индивидуальной судьбе человека, как отразились они в жизни и научном творчестве Н.Н. Моисеева. Его научные интересы, вкусы и пристрастия соответствовали его гражданской позиции, в его научной судьбе отразились и прогресс нашего века, и проблемы нашей страны.

Никита Николаевич Моисеев [«Как далеко до завтрашнего дня», Тайдекс, 2002] родился 23 августа 1917 года в Москве. Его отец, Николай Сергеевич окончил юридический факультет Московского университета и был оставлен при университете «для подготовки к профессорскому званию». Однако в 1918 г. он был уволен из университета, и его университетская карьера не состоялась, не без влияния тогдашнего Наркомпроса Луначарского. Мать, Елена Николаевна была приемной дочерью Николая Карловича фон Мекк, сына Надежды Филаретовны фон Мекк, известной по той роли, которую она сыграла в жизни нашего великого композитора П.И. Чайковского. Мать Никиты Николаевича рано умерла, и большую часть жизни он прожил с мачехой, о которой заботился до последних дней ее жизни.

Детство Никита Николаевич провел на Сходне в доме деда Сергея Васильевича Моисеева, который был инженером-путейцем, дослужился до генеральского чина, и при советской власти занимал высокий пост в наркомате железных дорог. Это была жизнь русской интеллигентной семьи с ежевечерними чтениями, разговорами о литературе, о жизни, о политике. Горячо обсуждали судьбу России, не принимая большевизм, надеялись на возрождение России после НЭПа. Суждения деда и отца, по признанию Никиты Николаевича, во многом определили его взгляды на всю жизнь. «Дед и отец – они были искренними русскими патриотами в самом цивилизованном понимании этого слова», — вспоминал он.

Однако при вступлении в самостоятельную жизнь социальное происхождение сделало Никиту Николаевича изгоем. Его не приняли в Московский университет, хотя он был лауреатом университетской математической олимпиады и успешно сдал вступительные экзамены. Только счастливый случай с вмешательством И.М. Гельфанда помогли ему стать студентом МГУ.

На старших курсах Н.Н. Моисеев специализировался по теории функций действительного переменного, только окончил университет, как началась Великая Отечественная война. Он был направлен учиться в Военно-воздушную академию им. Жуковского, окончил ее в мае 1942 г. и в звании лейтенанта уехал на Волховский фронт старшим техником по вооружению самолетов. Закончил войну боевым офицером, награжденным орденами и медалями.

Научную деятельность Никита Николаевич начал в авиационном полку. Случайно ему попала немецкая книга по внешней баллистике ракетных снарядов. Прочитав ее, Н.Н. Моисеев существенно упростил изложенный в книге метод, написал 10-страничный трактат и отправил профессору Победоносцеву, у которого учился в академии Жуковского в 1942 г. Ответом был приказ, которым капитан Моисеев откомандировывался на кафедру реактивного вооружения самолетов академии Жуковского.

Кафедру возглавлял профессор Дмитрий Александрович Венцель. Его Никита Николаевич считал одним из своих учителей: «Благодаря общению с Дмитрием Александровичем я понемногу начал понимать прелесть прикладной науки и задач, возникающих в инженерной практике, которые требуют и остроумия и изобретательности не меньше, чем любые высокие материи. И постепенно осознал, что наука едина, если она действительно НАУКА. Нет наук первого и второго сорта. Они делятся по совсем другим принципам: есть настоящая глубокая наука и есть спекуляции на науке. Другого разделения с тех пор я не признаю».

Работая на кафедре, Н.Н. Моисеев предложил простой оригинальный метод расчета рассеивания неуправляемых ракетных снарядов, и эти результаты стали основой его кандидатской диссертацией по техническим наукам.

За два-три года Н.Н. Моисеев стал известным специалистом в области динамики управляемых ракет, и в 1949 г. ушел из армии. Был принят на работу в ведущий ракетный НИИ и на кафедру МВТУ, выступал с докладами, публиковался, и уже писал книгу, которая должна была стать основой докторской диссертации. Но в 1949 г. его мачеху М.В. Моисееву, учительницу младших классов школы поселка Сходня арестовали по обвинению «в участии подготовки вооруженного восстания» и осудили на 10 лет лагерей. Н.Н. Моисеев был лишен допуска к секретным материалам и уволен с работы. Результаты этого периода его научной деятельности содержались в закрытых отчетах и не были опубликованы.

В 1950 г. Н.Н. Моисеев переезжает в Ростов-на-Дону и, можно сказать, заново начинает научную жизнь в Ростовском университете доцентом на кафедре теоретической механики. Он начинает заниматься гидродинамикой и получает результаты, которые стали содержанием докторской диссертации по физико-математическим наукам. Диссертацию Никита Николаевич успешно за-

щитил в 1955 г. на Ученом совете Математического института им. В.А. Стеклова АН СССР.

В 1955 г. Н.Н. Моисеев получает предложение академика М.А. Лаврентьева занять должность профессора по кафедре «Теория взрыва» Московского физико-технического института и возвращается в Москву. С 1956 г. в течение тридцати лет он был связан с Московским физико-техническим институтом, читал циклы лекций по гидродинамике, теории оптимизации и исследованию операций, руководил студентами и аспирантами. Научную школу Моисеева составляют, в основном, выпускники МФТИ. Многие из них стали известными учеными, среди них четыре академика и два член-корреспондента РАН. Однако школа Моисеева значительно шире. С 1965 г. по 1989 г. раз в два года в разных местах СССР Н.Н. Моисеев проводил Всесоюзные летние школы по методам оптимизации. Летние школы Моисеева сильно способствовали росту научных кадров в разных регионах страны. Многие из слушателей школ стали ведущими специалистами, и считают себя учениками Никиты Николаевича. В 1957 г. Н.Н. Моисеев стал первым деканом аэромеханического факультета МФТИ, а в 1969 г. по его инициативе в МФТИ возник Факультет управления и прикладной математики и он стал его первым деканом.

Научная жизнь Н.Н.Моисеева прошла в Вычислительном центре АН СССР, куда в 1956 г. он пришел старшим научным сотрудником по приглашению академика А.А. Дородницына. В ВЦ АН СССР Никита Николаевич проработал более тридцати лет, под его влиянием тематика исследований института существенно расширилась. Были начаты исследования численных методов оптимизации, развивалась теория исследования операций и принятия решений, создавалась методология математического моделирования в экономике, военном деле, экологии, разрабатывались системы автоматизации проектирования сложных технических и технико-экономических объектов. При непосредственном участии Н.Н.Моисеева были начаты исследования взаимодействия процессов в океане и атмосфере и влияния на них человеческой деятельности. Открытие с помощью модели феномена ядерной зимы принесло Н.Н. Моисееву мировую известность.

Когда в 1987 г. Никита Николаевич ушел с поста заместителя директора по науке, в ВЦ АН СССР существовало более пятнадцати отделов, созданных по инициативе и при участии его.

Последний период жизни Н.Н. Моисеева был связан с экологической организацией Российский Зеленый Крест, Международным эколого-политологическим независимым университетом, Российским комитетом UNEP, Президентом которых он был до конца своей жизни. Эти годы были наполнены интенсивной интеллектуальной и духовной работой, осмысливанием философских проблем естествознания, проблем синтеза естественных и гуманитарных наук.

Никита Николаевич Моисеев был патриотом России в самом истинном, высоком смысле. С болью переживал он смутное время, наставшее в России в 1992 г., но не только переживал, но и активно пытался противостоять пошлости недоучек, объявивших себя элитой нашего общества. Это нашло отражение в его публицистике, многочисленных публичных выступлениях. Он писал и говорил о единстве естественнонаучного и гуманитарного знания, о формировании

мировоззрения, о традициях российской науки и роли Учителя, о русской интеллигенции и о месте России в мире. Он был романтиком и оптимистом, несмотря ни на что, верил, что слово, обращенное к людям, найдет отклик и даст плоды.

Никита Николаевич Моисеев прожил долгую, яркую и не легкую жизнь. В конце ее сверкнула еще одна грань его таланта. В 1994 г. он написал книгу «Как далеко до завтрашнего дня... Свободные размышления. 1917-1993» [239]. Эта книга о его судьбе и его работе, которые так тесно переплелись с судьбой его страны.

Результаты деятельности Н.Н. Моисеева получили высокое научное и общественное признание. В 1966 г. он был избран член-корреспондентом АН СССР, а в 1984 г. – действительным членом (академиком) АН СССР. Н.Н. Моисеев был награжден многими орденами и медалями, ему была присуждена Государственная премия СССР и премия Совета Министров СССР. Он был избран членом иностранных академий и научных сообществ, удостоен международных премий.

Никита Николаевич Моисеев скончался 29 февраля 2000 г. Похоронен в Москве на Даниловском кладбище.

Научное наследие Н.Н. Моисеева [1] сочетает в себе высокую математическую культуру, острую прикладную направленность, новые постановки задач, широкие обобщения философского характера. В первых работах, составивших ему научный авторитет и известность, отразились особенности научного творчества Н.Н. Моисеева: полный математический анализ задачи и интерес к интерпретации математических фактов, способность увидеть те физические и технические следствия, которые эти факты могли иметь. У него было замечательное чутье на новые актуальные задачи. Он видел связь их с проблемами, которые были жизненно важны для страны. Особенно ярко это проявилось тогда, когда он искал общие постановки задач, от решения которых зависит научно-технический и социальный прогресс нашей страны или судьба планеты в целом. Он разрабатывал методологию междисциплинарных исследований как подход к решению этих задач, искал в методологии место прикладной математики и компьютерных технологий.

В научной жизни Н.Н. Моисеева можно выделить несколько периодов. Каждый из них определяется научными интересами ученого, на которые, конечно, влияли обстоятельства его жизни, но еще больше – чуткое предощущение новых прорывов на переднем крае науки и вычислительной техники и острое чутье на возникающие новые приложения методов математического моделирования. «Мы должны быть готовы использовать возможности нового поколения вычислительной техники, ищите новые задачи!» — всю жизнь внушал Никита Николаевич своим ученикам и сотрудникам. Соответственно этим периодам выделены разделы научных трудов Н.Н. Моисеева.

Работы Н.Н. Моисеева по гидродинамике и механике

Обзор научных трудов академика Н.Н. Моисеева начинается с работ по гидродинамике, потому что первые его работы, посвященные задачам рассеяния неуправляемых снарядов и ракет, были закрытыми, остались не опубликованными.

В гидродинамике и механике Н.Н. Моисеев занимался, главным образом, задачами о колебательных движениях жидкости, тел с жидкостью и тел в жидкости.

Первую работу по линейной теории движения тела, содержащего жидкость со свободной поверхностью, Н.Н. Моисеев опубликовал 1952 г. в Украинском математическом журнале [2], работая на кафедре теоретической механики Ростовского университета. Он рассмотрел малые колебания под действием упругой силы прямоугольного сосуда, содержащего тяжелую несжимаемую идеальную жидкость со свободной поверхностью. Задача была сведена к исследованию системы счетного числа линейных дифференциальных уравнений и показано, что сосуд с жидкостью может совершать установившиеся гармонические колебания. В работе нет ссылки на статью Л.Н. Сретенского [1 списка В] – когда Н.Н. Моисеев сдал статью в печать, работа Л.Н. Сретенского еще не была опубликована. В том же 1952 г. в Докладах Академии наук СССР выходят еще две статьи Н.Н. Моисеева [1], [4]. В первой из них дано обобщение постановки Н.Е. Жуковским [1] задачи о движении в поле потенциальных сил твердого тела, содержащего идеальную несжимаемую жидкость, на случай, когда жидкость неполностью заполняет полость тела и движения жидкости малые. Задача сведена к исследованию счетной системы обыкновенных дифференциальных уравнений относительно обобщенных координат тела и свободной поверхности. Последние – коэффициенты разложения формы свободной поверхности по полной системе гармонических функций, удовлетворяющих условиям непротекания на стенках неподвижной полости. Во второй статье [4] в общей постановке рассмотрена линейная задача о колебаниях тяжелой несжимаемой идеальной жидкости в неподвижном сосуде. Показано, что собственные частоты свободных колебаний жидкости определяются собственными числами интегрального уравнения, ядром которого является выписанная на невозмущенной свободной поверхности жидкости функция Грина задачи Неймана в области, ограниченной стенками сосуда и невозмущенной свободной поверхностью. Эти результаты – основополагающие в линейной теории движения тела, содержащего жидкость с колеблющейся свободной поверхностью. В том же 1952

г. в журнале «Прикладная математика и механика» была опубликована статья Н.Н. Моисеева [3], в которой он применил общую теорию к детальному исследованию колебаний маятников, содержащих жидкость, один из которых подвешен на шарнирном параллелограмме и совершает поступательные колебания, а второй подвешен на стержне и совершает вращательные движения. Автор показал, что жидкость в маятнике сообщает качественно новые свойства движению маятников. Результаты расчетов были сопоставлены с результатами экспериментов, которые Н.Н. Моисеев выполнял силами студентов университета.

С самого начала проявляется стремление Н.Н. Моисеева к содержательной интерпретации математических результатов и получению физических следствий из них. В условиях университета возможности его были ограничены. Между тем задачи о движении тел, содержащих полости с колеблющейся жидкостью, стали актуальными в связи с проблемами проектирования ракет на жидком топливе. Примерно одновременно с Н.Н. Моисеевым этими задачами занимались в закрытых НИИ и КБ Д.Е. Охоцимский и Г.С. Нариманов, но они смогли опубликовать свои результаты позже [2,3 списка В].

В 1953 г. в журнале Математический сборник выходит статья Н.Н. Моисеева, обобщающая его первые результаты в линейной теории движения тел, с полостями, содержащими жидкость со свободной поверхностью [5]. Рассматривая движение сосуда, содержащего жидкость со свободной поверхностью, Н.Н. Моисеев в качестве системы функций, полной на невозмущенной свободной поверхности жидкости, выбрал собственные функции ранее введенного интегрального уравнения. Поле скоростей жидкости представлялось суперпозицией скоростей под «замороженной» свободной поверхностью и скоростей жидкости, колеблющейся в неподвижном сосуде. Соответственно потенциал скоростей складывался из потенциала Н.Е. Жуковского и уже изученного потенциала колебаний жидкости в неподвижном сосуде. Используя такое представление решения задачи гидродинамики, Н.Н. Моисеев получил линейные уравнения движения системы «твердое тело + жидкость» в простой, изящной форме, каждый коэффициент уравнений имел ясный физический смысл. Вычислив выражения для кинетической и потенциальной энергий системы, Н.Н. Моисеев показал, что выведенная система уравнений не что иное, как уравнения Лагранжа в обобщенных координатах. В предположении о консервативности внешних сил Н.Н. Моисеев рассмотрел задачу о малых свободных колебаниях тела с жидкостью, показал, что система разрешима и может быть приведена к нормальному виду. Тем самым было доказано, что для устойчивости тривиального решения необходимо и достаточно положительной определенности квадратичной формы потенциальной энергии. Исследование выражения потенциальной энергии показало, что для знакоопределенности потенциальной энергии необходима и достаточно положительная определенность квадратичной формы конечного числа переменных, которую можно интерпретировать как потенциальную энергию «эквивалентного» твердого тела. Это – классический результат, обобщивший соответствующий результат Н.Е. Жуковского на случай тела, содержащего колеблющуюся жидкость. Пользуясь полученными ре-

зультатами, Н.Н. Моисеев подробно изучил случай тела с одной степенью свободы в общей постановке.

В 1954 г. в журнале Известия Академии наук СССР Н.Н. Моисеев публикует работу о динамике корабля, содержащего жидкие грузы [8], а в 1955 г. – работу о движении в жидкости тела, которое содержит полость с жидкостью, сообщающуюся с внешней жидкостью, в журнале Прикладная математика и механика [11]. Это была математическая модель работы демпфирующих цистерн корабля.

Перечисленные результаты, а также исследование колебаний жидкости в неподвижном сосуде в нелинейной постановке составили содержание диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук [12], которую Н.Н. Моисеев защитил в 1955 г. на Ученом совете Математического института им. В.А. Стеклова. Его научным консультантом был академик Л.И. Седов, а научными оппонентами – академики С.Л. Соболев, И.Н. Векуа и А.Ю. Ишлинский. Последний результат Н.Н. Моисеев опубликовал только в 1958 г. в журнале Прикладная математика и механика. В нелинейной постановке [19] Н.Н. Моисеев построил решение задачи о свободных и вынужденных колебаниях в виде формальных асимптотических рядов, обобщающих описание системы Ляпунова конечного числа степеней свободы на случай счетного числа степеней свободы, изучил свойства спектра собственных колебаний и резонансные вынужденные колебания.

Существенное значение для развития исследований колебаний жидкости и динамики тел с жидкостью имела совместная с С.Г. Крейном статья Н.Н. Моисеева, опубликованная в 1957 г. в журнале Прикладная математика и механика [15]. Линейная система уравнений движения относительно обобщенных координат тела и содержащейся в нем жидкости была выписана в интегро-дифференциальной форме через функцию Грина задачи Неймана для области, занятой невозмущенной жидкостью. Введя евклидово пространство, размерность которого равна числу обобщенных координат твердого тела, гильбертово пространство функций, заданных на невозмущенной свободной поверхности жидкости, прямую сумму этих пространств и введя соответствующие операторы, действующие в каждом пространстве и из одного пространства в другое, авторы переписали исходную систему в форме операторного уравнения. Исследование показало, что один из операторов этого уравнения вполне непрерывный положительный самосопряженный, а другой оператор ограниченный. Квадратичная форма, ассоциированная с первым оператором, представляет кинетическую энергию системы, а квадратичная форма, ассоциированная со вторым оператором — удвоенную потенциальную энергию системы. Для положительной определенности потенциальной энергии необходимо и достаточно положительной определенности некоторой квадратной матрицы, размер которой равен числу обобщенных координат твердого тела. Это – общий вид условий устойчивости равновесия тела с жидкостью. Из теорем функционального анализа непосредственно следовала необходимость и достаточность минимальности потенциальной энергии для устойчивости положения равновесия тела с жидкостью, существование нормальных колебаний, дискретность спектра собственных частот без конечных точек сгущения, полнота системы главных

колебаний, единственность решения задачи Коши при известных ограничениях на внешние обобщенные силы.

Эта работа открыла подход к получению общих результатов в линейной теории движения тел, содержащих несжимаемую жидкость со свободной поверхностью. В работах, опубликованных в 1959 г. в журналах Доклады Академии наук СССР и Прикладная математика и механика [25] и [26] Н.Н. Моисеев рассмотрел малые колебания упругой балки, содержащей несжимаемую идеальную жидкость со свободной поверхностью. Результаты, полученные в случае твердого тела, были обобщены на случай рассмотренного упругого тела. В этих работах Н.Н. Моисеев впервые предложил вариационный подход к выводу уравнений и обосновал применимость метода Ритца для вычисления собственных колебаний тел с жидкостью. Это открыло общий подход к созданию эффективных численных методов конструирования линейных моделей движения тел, содержащих несжимаемую жидкость со свободной поверхностью в полостях сложной формы. Методы Моисеева были прямо ориентированы на применение ЭВМ к решению задач актуальных для ракетной техники. Подробно численные методы расчета собственных колебаний изложены в книге Н.Н. Моисеева и А.А. Петрова [63]. Наиболее полно вариационный подход к решению задач о колебаниях жидкости и тел с жидкостью Н.Н. Моисеев изложил в работе 1962 г., опубликованной в сборнике статей, ставшем библиографической редкостью [40].

Объекты космической техники содержат полости с жидкостью в слабых полях массовых сил. Здесь существенными становятся силы поверхностного натяжения на границах раздела жидкость-газ и жидкость-тело. В связи с этим Н.Н. Моисеев рассмотрел задачи о равновесии и малых колебаниях относительно равновесия жидкости под действием не только гравитационных сил, но и сил поверхностного натяжения. В совместной статье с Ф.Л. Черноусько, Н.Н. Моисеев рассмотрел задачу о малых колебаниях несжимаемой идеальной жидкости в неподвижном сосуде при условии, что гравитационные силы малы и существенны силы поверхностного натяжения [54]. Аккуратно линеаризовав задачу, Н.Н. Моисеев ввел оператор Неймана в области, занятой жидкостью в равновесии и через него представил решение задачи. Задача о главных формах колебаний была сведена к исследованию спектра некоторого операторного уравнения. Исследовав свойства операторов, Н.Н. Моисеев показал, что если в положении равновесия потенциальная энергия жидкости минимальна, то спектр собственных значений дискретен с единственной предельной точкой на бесконечности, все главные колебания устойчивы, система форм главных колебаний полна в энергетической норме, собственные частоты и собственные функции можно вычислить методом Ритца, который сходится.

Для вычисления равновесной формы свободной поверхности жидкости под действием гравитационных сил и сил поверхностного натяжения Н.Н. Моисеев предложил прямой метод отыскания минимума функционала [68]. Подробнее о нем будет сказано в разделе, посвященном исследованиям Н.Н. Моисеевым методов оптимизации.

Первая работа Н.Н. Моисеева, относящаяся к теории волн на поверхности вязкой жидкости, была опубликована в 1961 г. в Журнале вычислительной математики и математической физики [36]. В ней рассмотрены две краевые задачи для линейризованного уравнения Навье-Стокса. Первая задача содержала условия прилипания вязкой жидкости к стенкам сосуда, в который заключена жидкость. Во второй задаче были заданы условия отсутствия касательных напряжений и непрерывности нормальных напряжений на равновесной в поле сил тяжести свободной границе жидкости. Поле скоростей было представлено суперпозицией потенциального и соленоидального векторов. Рассмотрев случай малой вязкости, Н.Н. Моисеев ввел в задачи малый параметр. В двумерном случае он показал, как проводить асимптотический анализ задачи, и построил в виде пограничного слоя соленоидальную составляющую скоростей, она компенсировала невязку граничных условий. В результате исходные задачи были сведены к краевым задачам для потенциала скоростей с заданными приближенными краевыми условиями, которые определялись соленоидальной составляющей скорости.

Эта работа содержит изложение нового подхода, предложенного Н.Н. Моисеевым к изучению волновых движений вязкой жидкости. Идея представления поля скоростей суммой потенциальной и соленоидальной составляющих [5 списка В] была высказана еще Г. Ламбом. Л.Н. Сретенский последовательно провел идею Ламба и одним из первых подробно исследовал волны Коши-Пуассона на поверхности вязкой жидкости [6 списка В]. В последующих работах решение задачи о волнах на поверхности вязкой жидкости сводилось к исследованию сложного трансцендентного уравнения с комплексными корнями или к вычислению сложных интегралов в комплексной плоскости. При этом широко использовались методы асимптотического анализа при предположении о малости вязкости.

Н.Н. Моисеев предложил проводить асимптотический анализ исходной задачи и вместе со своими учениками на этом пути получил интересные результаты. Вместе с Н.Я. Багаевой Н.Н. Моисеев опубликовал решение задачи о стоячих волнах между вертикальными стенками [51]. А.Г. Шмидт получил асимптотические решения задач о гравитационных и капиллярных волнах на поверхности шарового слоя вязкой жидкости конечной глубины. П.С. Краснощеков использовал асимптотические методы для решения задач о движении твердого тела, полость которого целиком заполнена вязкой жидкостью. Изложение этих результатов можно найти в совместной публикации 1965 г. П.С. Краснощекова, Н.Н. Моисеева и А.Г. Шмидта [57]. Подход, предложенный Н.Н. Моисеевым, широко использовал Ф.Л. Черноусько при исследовании движения вязкой жидкости и твердого тела, содержащего вязкую жидкость, в предельных случаях большой и малой вязкости [7 списка В].

Полное изложение результатов Н.Н. Моисеева в теории движения тел, содержащих в полостях жидкость, и связанных с ней вопросов теории колебаний свободной поверхности жидкости содержится в монографии, опубликованной им совместно с В.В. Румянцевым в 1965 г. [58]. В 1980 г. за цикл работ по теории движения тел с полостями, содержащими жидкость, Н.Н. Моисеев, А.А. Петров, В.В. Румянцев, Ф.Л. Черноусько получили Государственную премию СССР.

Отдельный раздел исследований Н.Н. Моисеева в гидромеханике и механике составляют работы по нелинейной теории установившихся движений тяжелой несжимаемой идеальной жидкости со свободной поверхностью.

Задача об установившихся движениях тяжелой несжимаемой идеальной жидкости со свободной поверхностью сводится к отысканию аналитической функции в бесконечной полосе с неизвестной формой верхней границы. На этой границе задано существенно нелинейное условие, из которого можно найти неизвестную функцию – форму свободной поверхности. Это условие содержит параметр – число Фруда. Если ищется периодическое по горизонтальной координате решение задачи, то получается задача об установившихся периодических волнах на поверхности жидкости. Если ищется решение, которое на бесконечности по горизонтальной координате описывает горизонтальный поток, то получается задача об уединенной волне на свободной поверхности жидкости.

Нелинейные задачи об установившихся волнах были предметом исследований замечательных ученых. А.И. Некрасов и Т. Леви-Чивита в 1920 гг. одновременно и независимо получили точное решение о периодических волнах. В 1940 гг. М.А. Лаврентьев доказал существование уединенной волны. Первоначально росли две ветви теории, в них использовались разные методы. Только в 1960 г. ученик Н.Н. Моисеева А.М. Тер-Крикоров построил теорию, из которой следовало и существование периодических волн, и существование уединенной волны [8 списка В].

Не будет преувеличением сказать, что последний результат был подготовлен исследованиями Н.Н. Моисеева. В 1957 г. он дал новое доказательство теоремы А.И. Некрасова [18]. Специальным выбором переменных Н.Н. Моисеев свел задачу к уравнению с оператором Ляпунова-Шмидта и показал, что известные результаты теории периодических волн можно получить методами теории интегральных уравнений Ляпунова-Шмидта, а теорема существования периодических волн прямо следует из этой теории. Теория Моисеева позволяла использовать метод Ляпунова для эффективного расчета нелинейных волн. В частности, было показано, что связь между амплитудой, длиной и скоростью распространения волны следует из уравнения разветвления.

В 1958 г. в журнале Доклады Академии наук СССР была опубликована совместная статья Н.Н. Моисеева с его учениками Ю.П. Иванчиковым и А.М. Тер-Крикоровым, в которой был исследован асимптотический характер формул приближенных конформных отображений узких полос М.А. Лаврентьева [22]. Конформные отображения узких полос естественно использовать для изучения волн, длина которых велика по сравнению с глубиной воды. Соответственно узкой называют полосу радиус кривизны которой велик по сравнению с ее шириной¹. М.А. Лаврентьев вывел приближенную формулу конформного отображения полосы с криволинейной границей на прямолинейную полосу единичной ширины при априорно заданных условиях на функцию, описывающую криволинейную границу.

¹ У М.А. Лаврентьева интерес к длинным волнам возник в связи с проблемой цунами – одиночной пологой волной, которая возникает в океане, а, выходя на берег, опрокидывается и производит сильные разрушения.

Н.Н. Моисеев с учениками показали, что формулу М.А. Лаврентьева можно получить, если взять первые два члена асимптотических рядов специального типа, дающих формальное решение задачи Дирихле, соответствующей конформному отображению. Характер формул существенно зависит от априорных условий, наложенных на функцию, описывающую границу. При построении формул Ю.П. Иваниловым, Н.Н. Моисеевым и А.М. Тер-Крикоровым никак не использовалась специфика конформного отображения, поэтому подход можно было распространить на широкий класс эллиптических операторов.

Н.Н. Моисеев использовал асимптотический подход для исследования волн на поверхности тяжелой несжимаемой идеальной завихренной жидкости [31]. Он показал, что при неограниченном увеличении длины волны периодические волны вырождаются в уединенную, каково бы ни было распределение вихря по линиям тока, если только скорость больше критической. Обоснование этого результата было дано А.М. Тер-Крикоровым в работе, опубликованной в 1961 г. в Журнале вычислительной математики и математической физики [10 списка В].

Асимптотический подход развивали ученики Н.Н. Моисеева. Совместно с А.М. Тер-Крикоровым Н.Н. Моисеев решил задачу об обтекании плоского крылового профиля под свободной поверхностью при числах Фруда близких к критическим [21]. Ю.П. Иванилов рассмотрел задачу о течении жидкости в наклонном канале [9 списка В].

Н.Н. Моисеев получил и точные решения задачи об установившихся волнах на поверхности завихренной жидкости. До него этой задачей занимались Дюбрей-Жекотен, которая доказала существование периодических решений при весьма жестких ограничениях на распределение вихря [11 списка В], и Гийон, который предполагал только малость вихря [12 списка В]. Н.Н. Моисеев при общих предположениях об интегрируемости функции распределения вихря по линиям тока специальной заменой переменных свел задачу к интегро-дифференциальным уравнениям типа Гаммерштейна и показал, что теорема существования следует из общих результатов, установленных для уравнений этого типа. Таким образом, теория Некрасова и Леви-Чивита была перенесена на случай завихренной жидкости.

Особый интерес представляет развитие теории нелинейных установившихся волн на поверхности неоднородной жидкости. Как было сказано. Интерес к изучению уединенной волны возник в связи с исследованием явления цунами. Однако цунами – не уединенная волна, а цуг волн. Н.Н. Моисеев высказал гипотезу, что это – следствие неоднородности морской воды. Свою идею он передал А.М. Тер-Крикорову и настоятельно просил его заняться проблемой волн на поверхности неоднородной жидкости. В 1962 г. А.М. Тер-Крикоров в журнале Прикладная математика и механика опубликовал приближенное решение задачи о волнах в неоднородной жидкости [13 списка В], а год спустя он опубликовал точное решение проблемы [14 списка В]. А.М. Тер-Крикоров рассмотрел две постановки задачи. В первой он задал распределение плотности по глубине в поперечном сечении области, занятой жидкостью. Во второй постановке было задано распределение плотности вдоль линий тока. Автор установил, что существует счетное множество

критических скоростей распространения волн и что в окрестности каждой из скоростей существует двупараметрическое семейство волн, вырождающееся в уединенную волну, когда длина волн стремится к бесконечности. Иначе говоря, было установлено, что в неоднородной жидкости возможно существование не одной уединенной волны (как в однородной жидкости), а счетного числа уединенных волн. У каждой уединенной волны своя картина линий тока. При выравнивании поля плотности все формы течения жидкости вырождаются в равномерный поток, кроме одной, которая переходит в уединенную волну. Теории Некрасова и Дюбрей-Жакотен содержатся частными случаями в теории, выведенной из второй постановки.

С теорией установившихся волн тесно связана теория обтекания тел под свободной поверхностью тяжелой несжимаемой идеальной жидкости. В уже упомянутой работе 1957 г. [18] Н.Н. Моисеев, используя методы теории возмущений нелинейных операторов, исследовал стационарные режимы обтекания волнистого дна и показал, что в зависимости от величины числа Фруда существуют два типа решений, одно из которых вырождается в уединенную волну. В 1958 г. Н.Н. Моисеев и А.М. Тер-Крикоров в журнале Доклады Академии наук СССР [21] опубликовали статью, в которой показали, что в задаче об обтекании вихря или произвольного тела под свободной поверхностью тяжелой несжимаемой идеальной жидкости при числах Фруда больших критического возможны два решения, обращающиеся в нуль на бесконечности. Одно из них вырождается в тривиальное, другое – в уединенную волну. Решение было получено асимптотическими методами, поэтому не было строгим. Строгое обоснование результата было дано учеником Н.Н. Моисеева И.Г. Филипповым в работе 1961 г. [15].

В теории нелинейных колебаний механических систем Н.Н. Моисеев рассмотрел нелинейное дифференциальное уравнение, содержащее малый параметр [42]. При малых начальных значениях энергии уравнение описывает колебательные движения системы, а при больших значениях энергии – вращательные движения системы. Н.Н. Моисеев распространил общий подход к изучению колебательных движений в случае малой энергии на случай большой энергии. Он построил асимптотическое решение порождающего уравнения в виде ряда по отрицательным степеням корня из энергии. После этого привел исходное уравнение к стандартному виду, пригодному для асимптотического анализа, и построил нерезонансное и резонансное решения.

В 1962 г. на Международном конгрессе по астронавтике Н.Н. Моисеев представил обзор приложений асимптотических методов нелинейных колебаний, разработанных его школой, к созданию экономных численных методов интегрирования уравнений движения космических аппаратов по орбите и спускаемых космических аппаратов относительно центра масс [41].

Исследования асимптотических методов в теории нелинейных колебаний механических систем Н.Н. Моисеев завершил монографией [73]. Второе издание монографии вышло в 1981 г. [127].

Работы Н.Н. Моисеева по численным методам оптимального управления

Первые результаты в области численных методов решения задач оптимального управления Н.Н. Моисеев опубликовал в 1963 г. в журнале Доклады Академии наук СССР вместе со своей ученицей Н.Я. Багаевой [45]. Они рассмотрели задачу об управляемом переводе за минимальное время системы из заданного начального в заданное конечное состояние в силу уравнений движения. Как обычно, были заданы ограничения на значения управлений, но, кроме того, были заданы ограничения на фазовые координаты. Поэтому для решения рассматриваемой задачи нельзя было использовать формализм принципа максимума Понтрягина. Н.Н. Моисеев предложил использовать прямой метод отыскания минимума времени перехода. В основе метода лежала так называемая элементарная операция. Она заключается в том, чтобы построить управление, которое переводит систему из допустимого заданного состояния в близкое допустимое состояние. Построить элементарную операцию не просто, но все-таки проще, чем решать исходную задачу – по крайней мере, ограничения на фазовые координаты автоматически удовлетворены выбором конечной точки. Кроме того, можно использовать близость точек для получения приближенного решения. В рассматриваемом случае авторы использовали принцип максимума Понтрягина для конструирования элементарной операции. После того, как элементарная операция построена, на оси времени строится равномерная сетка точек, от начальной точки. Предполагается, что есть начальное приближение к оптимальной траектории, следовательно, задана последовательность состояний системы на выбранной сетке моментов времени. Каждое состояние системы варьируется – строится шар заданного малого радиуса с центром в соответствующей точке фазового пространства и на шаре выбирается конечное число точек. Заданная начальная точка фазового пространства, в которой находится система в начальный момент времени, элементарной операцией соединяется со всеми точками сферы, центром которой является состояние системы в следующей точке сетки времени. Каждому соединению соответствует вычисленное время перехода. Потом берется следующая сфера, и каждая точка на ней соединяется с каждой точкой предыдущей сферы элементарной операцией. Таким образом, переход из начальной точки в каждую точку последней сферы происходит через промежуточные точки предыдущей сферы. Естественно, что из всех промежуточных точек надо оставить только ту, которой соответствует минимальное время перехода из начальной точки в данную точку последней сферы.

Далее берется следующая сфера и процедура повторяется. В конце концов, строятся траектории перехода из начальной точки во все точки предпоследней сферы с минимальным временем перехода. Осталось соединить эти точки с центром последней сферы (заданным конечным состоянием системы) с помощью элементарной операции и выбрать траекторию, на которой время перехода минимально. Это будет следующим приближением – по построению время перехода на этом приближении не больше, чем время в первом приближении. Следующее приближение считается начальным, и процедура повторяется. В результате получается невозрастающая последовательность приближений к решению задачи. Вопросы сходимости в работе практически не обсуждались. Идейно метод Моисеева был близок методу Михалевича-Шора [16 в списках В].

В следующем, 1964 г. Н.Н.Моисеев и Н.Я. Багаева в докладе XIV Международном конгрессе по астронавтике представили элементарную операцию в задаче о переводе спутника с одной заданной орбиты на другую заданную орбиту и предложили решение задачи о переводе спутника с орбиты на орбиту в облет радиационных поясов в двух постановках [46].

В том же 1964 г. Н.Н. Моисеев в журнале Вычислительная математика и математическая физика публикует первую из двух статей, в которых последовательно излагался его прямой метод решения задач оптимального управления [49]. В этой статье он изложил метод варьирования в пространстве управлений. Рассматривался класс задач оптимального управления на заданном отрезке времени с интегральным функционалом, подинтегральная функция которого через некоторый оператор зависит от управления. Ограничения на значения управления могут быть весьма сложными. На заданном отрезке времени строится равномерная сетка. В каждом сечении множества допустимых управлений гиперплоскостью, соответствующей каждой точке сетки выбирается конечное множество значений управления. Это – шкала управлений. Элементарная операция ставит двум точкам в соседних сечениях функцию, интерполирующую управление между этими точками. Этому управлению ставится в соответствие значение вклада в функционал – значение функционала, вычисленное по интерполированному элементарной операцией управлению между выбранными точками соседних сечений. Далее строится процедура разветвления вариантов и выбора из них наилучшего, подобная той, что была изложена выше.

Н.Н. Моисеев рассмотрел применение метода варьирования в пространстве управлений к решению краевых задач для уравнения Лагранжа и рассмотрел в качестве примера задачу перевода спутника из одной точки пространства в другую за минимальное время. Кроме того, он показал, что метод можно применять для решения задач оптимального управления, для которых справедлив принцип максимума Понтрягина, если множество допустимых управлений открыто. В таком случае дело сводится к отысканию минимума функционала с расширенным множеством управлений – управлениями надо считать фазовые координаты, к которым добавлена переменная – величина функционала в зависимости от текущего времени – и импульсы.

Во второй статье, которая была опубликована в 1965 г. Н.Н. Моисеев изложил метод вариаций в пространстве состояний в общем случае аддитивных функционалов, для которых справедлив принцип оптимальности Р. Беллмана [55]. Это было подробное изложение результатов, опубликованных в первой статье 1963 г. Строилась не шкала управлений, а шкала состояний сечениями множества допустимых фазовых координат гиперплоскостями в точках равномерной сетки по времени. Метод сводился к построению элементарной операции, которая паре близких фазовых точек ставила в соответствие управление, переводящее систему из одной точки в другую. Соответственно, автор много внимания уделил обсуждению подходов к построению элементарной операции.

Подробно рассмотрено применение метода к решению задач оптимального управления с ограничениями на фазовые координаты. Рассмотрены задачи с интегральными неравенствами и изопериметрические задачи.

В 1966 г. в журнале Кибернетика Н.Н. Моисеев опубликовал статью, в которой предложил сводить процедуры планирования производства, формализованные задачами математического программирования, к дискретным задачам оптимального управления [60]. Идея состояла в том, чтобы в качестве переменной времени брать монотонно растущий индекс переменной управления. Таким способом задача программирования превращалась в задачу на минимум исходного управления при условии, что фазовая траектория проходит через заданные начальную и конечную точки. Для решения этой задачи предлагался прямой метод варьирования в пространстве состояний. Н.Н. Моисеев рассмотрел задачу о планировании сельскохозяйственного производства в линейной и нелинейной постановке. Это была первая работа Н.Н. Моисеева, посвященная экономическим задачам.

В 1967 г. в журнале Техническая кибернетика был опубликована обзорная статья Н.Н. Красовского и Н.Н. Моисеева, в которой обсуждались состояние и проблемы теории оптимальных управляемых систем [66]. Среди численных методов теории оптимального управления Н.Н. Моисеев упомянул метод варьирования в пространстве состояний и четко выделил два варианта реализации метода. В первом варианте шкала состояний строилась на всем множестве допустимых управлений, и оптимальная траектория выбиралась среди всех допустимых (естественно, это множество описано приближенно). Этот метод близок к методу Михалевича-Шора, он дает возможность получить приближение к глобальному экстремуму, но требует большой памяти. Во втором варианте задавалось начальное приближение к решению задачи, и шкала состояний строилась в окрестности начального приближения. Таким методом можно найти только локальный экстремум, но он существенно экономит память. Ученик Н.Н. Моисеева Ф.Л. Черноусько предложил экономный вариант локального варьирования заданного приближения к траектории. Этот метод, названный методом локальных вариаций, И.А. Крылов и Ф.Л. Черноусько применили для решения задач оптимального управления [17 из списка В].

В том же обзоре Н.Н. Моисеев отметил, что методы, основанные на варьировании в пространстве состояний начали с успехом использовать для решения задач математической физики. Многие из них допускают естественную вариационную формулировку. В частности, так были решены задачи о равновесии сво-

бодной поверхности несжимаемой идеальной жидкости под действием сил поверхностного натяжения и гравитационных сил. Ф.Л. Черноусько и Н.В. Баничук успешно применяли метод локальных вариаций для решения разнообразных задач механики [18 списка В].

Рассматриваемый обзор интересен и тем, что в нем Н.Н.Моисеев впервые поставил вопрос о распространении методов оптимального управления на большие сложные системы. Он обратил внимание на необходимость рассматривать иерархически устроенные системы, изучать информированность звеньев иерархии. Одной из главных проблем анализа и синтеза иерархических систем Н.Н. Моисеев назвал проблему рационального разделения управлений по уровням иерархии и рациональных взаимодействий уровней.

Впервые информационный подход к анализу иерархических систем Н.Н. Моисеев предложил в совместной с Ю.Б. Гермейером статье, опубликованной в 1971 г. в сборнике «Проблемы прикладной математики и механики» [78].

В 1973 г. в Трудах Всесоюзной школы-семинара по управлению большими системами Н.Н. Моисеев подробно изложил информационную теорию иерархических систем [86]. Моисеев исходил из того, что в сложной системе иерархия возникает, когда между ее звеньями большой системы распределяются функции обработки информации. Вследствие этого отдельные звенья получают возможность принимать управляющие решения, руководствуясь не только целями других звеньев, но и собственными целями. Множественность целей в больших системах – первое из главных положений информационной теории иерархии. Второе главное положение – целью большой системы является максимальное удовлетворение интересов ее верхнего уровня. Третье главное положение – иерархия выражается информационной и организационной несимметрией звеньев большой системы. Нижние звенья иерархии лучше информированы о неконтролируемых факторах, чем верхние звенья, но верхние звенья устанавливают институциональные ограничения, в которые может входить право распределять ресурсы. Оценку эффективности иерархии Н.Н. Моисеев основывал на простом соображении. Интересы большой системы как целого выражаются интересами ее верхнего уровня. Существует альтернатива: 1) управлять распределением ресурсов централизованно в соответствии с критерием, выражающим интересы верхнего уровня; 2) создать иерархию, т.е. разделить управление распределением ресурсов с нижними уровнями. В первом случае решение придется принимать по неполной информации, потому что централизованный сбор информации занимает много времени, дорог и т.д. Решение задачи о распределении ресурсов при неполной информации дает одно значение критерия, выражающего интерес верхнего уровня. Во втором случае задачи о распределении ресурсов решают звенья нижних уровней в соответствии со своими интересами, но при более полной информации и при заданных институциональных ограничениях. Итоговое распределение ресурсов дает другое значение критерия, выражающего интерес верхнего уровня. Если второе значение критерия больше первого значения критерия, то иерархия рациональна. Таким образом, задачи анализа и синтеза иерархических систем управления делятся на два типа. Первый тип – изучение процессов сбора, передачи и обработки информации,

необходимой для принятия решений. Второй тип – организация структуры большой системы, т.е. конструирование институциональных ограничений, которые при заданных ограничениях на информированность элементов большой системы обеспечивают распределение ресурсов, максимально соответствующее интересам верхнего уровня.

Н.Н. Моисеев рассматривал задачи второго типа. Он предложил общую схему математического описания иерархической системы управления и наметил подходы к решению возникающих математических задач. Подробно им рассмотрена схема двухступенчатой иерархии, которая состоит из верхнего уровня (Центр) и нижнего уровня (конечное множество Производителей).

Производители обладают собственными ресурсами и ресурсами, полученными от Центра, использование ресурсов дает им доход. Доход Производителя зависит от количества ресурсов (следовательно, от ресурсов, выделенных ему центром), от величины неконтролируемых факторов и от институциональных ограничений, наложенных центром. Эти ограничения Н.Н. Моисеев задавал как зависимость поощрения или наказания от принятого Производителем решения о распределении ресурсов. Цель Производителя так распределить имеющиеся ресурсы, чтобы получить максимальный собственный доход при заданных информационных ограничениях на неконтролируемые факторы. Таким образом, решение Производителя зависит от количества ресурсов, полученных от Центра, от точности информации о неконтролируемых факторах и от установленной Центром зависимости штрафа или поощрения его собственного решения.

Доход Центра зависит от распределения централизованного ресурса Производителям и от распределения ресурсов Производителями, следовательно, от назначенных Центром правил начисления штрафов и поощрений и от неконтролируемых факторов. Задача Центра так назначить штрафы и поощрения и так распределить централизованный ресурс, чтобы максимизировать свой доход. Однако Центр не знает точно интересов и возможностей Производителей, поэтому он использует свои модели Производителей. Н.Н. Моисеев называет их гипотезами о поведении Производителей. Согласно этим гипотезам Центр решает за Производителей задачи о распределении ресурсов и оценивает, как результат зависит от выбранного распределения централизованного ресурса и от выбранных правил назначения штрафов и поощрений. Оценка зависит и от неконтролируемых факторов, поскольку отражает представления центра об информированности Производителей. После этого ставится задача о распределении ограниченного централизованного ресурса между Производителями и о выборе параметров правил назначения штрафов и поощрений из заданного класса, которые максимизируют доход Центра. Так как результат зависит от неконтролируемых факторов, в постановке задачи надо учитывать информированность о них Центра и описать способ использования доступной информации Центром.

В этой работе Н.Н. Моисеев рассмотрел несколько примеров, которым давал экономическую интерпретацию.

Подход Н.Н. Моисеева к анализу иерархических систем управления основан на игровых конструкциях, предложенных Ю.Б. Гермейером и его учениками [19 списка В].

В том же 1973 г. Н.Н. Моисеев опубликовал в журнале Кибернетика статью о применении игровых подходов в теории иерархических систем [84].

В 1974 г. Н.Н.Моисеев опубликовал обзор, посвященный эволюции идей и перспективам теории оптимизации и управления [95]. Он писал о взаимном влиянии и взаимном проникновении методов оптимизации и постановок задач оптимального управления. Значительная часть обзора была посвящена новым постановкам: многокритериальным задачам оптимального управления, игровым постановкам задач оптимального управления. Заключительная часть обзора целиком посвящена постановкам задач оптимального управления, возникающим в связи с экономическими приложениями. Его интересы смещались в сторону проблем управления социально-экономическими системами. Он надеялся, что теоретико-игровые подходы и методы позволят создать аппарат анализа и синтеза механизмов управления в больших системах, существенным элементом которых являются люди с присущими им интересами и способностью к целенаправленному выбору [104].

В 1977 г. в журнале Кибернетика Н.Н.Моисеев опубликовал статью, в которой предложил теоретико-игровой подход к анализу эколого-экономических систем [103]. В этой работе он рассмотрел системы, состояние которых описывается конечномерным вектором, а изменение состояния во времени происходит под воздействием внешних сил, описание которых неточно и нечетко, и управлений. Н.Н. Моисеев назвал кибернетическим описанием системы эффективно построенный оператор, который отображает прошлые состояния системы на конечном интервале времени и заданные текущие внешние воздействия на состояния системы на конечном интервале времени в будущем. Кибернетические системы Н.Н. Моисеев разделил на рефлексные системы и нерефлексные системы. Рефлексными он назвал системы, в которых управления являются функциями фазовых переменных, внешних сил и времени. К нерефлексным отнесены системы, в которых управления находятся в распоряжении людей и определяются стремлением к достижению определенных целей, которые могут быть формализованы в виде функционалов. Исследование нерефлексных кибернетических систем может проводиться только с позиции одного из субъектов, принимающих решения. Это – субъективное описание системы, оно содержит модели, которыми данный субъект представляет поведение остальных субъектов.

Н.Н. Моисеев поставил задачу выделить классы кибернетических систем, для которых можно развивать общие методы анализа. Один из таких классов образуют иерархические системы. К другому классу он отнес системы, которые назвал гермейеровскими. В 1974 г. Ю.Б. Гермейер и И.А. Ватель в журнале Известия Академии наук, серия Техническая кибернетика опубликовали статью, в которой рассмотрели игру со многими участниками, функции выигрыша которых были устроены иерархически [20 списка В]. Нижние компоненты описывали индивидуальные интересы каждого из участников, над ними – их групповые интересы, выше – классовые интересы и т.д., вплоть до общего интереса как членов единого общества. Каждый из участников свертывал вектор интересов в единый критерий – например, брался минимум взвешенных компонент. Рассматривалась задача о

рациональном разделении ресурсов по компонентам векторного критерия. Оказалось, что в такой игре существует устойчивое и эффективное равновесие по Нэшу. С помощью схемы Гермейера-Вателя Н.Н. Моисеев предлагал формализовать понятие гомеостаза кибернетической системы. Отсюда он делал вывод, что система взаимодействий человека и окружающей среды обязана быть гермейеровской кибернетической системой. Нарушение равновесия биоты или необратимое изменение климата выводит человечество из гомеостаза. Поэтому, каков бы ни был набор субъектов кибернетической системы, у них всегда среди интересов есть общий для всех интерес стабильности биоты. Раз так, то имеет смысл искать устойчивое эффективное коллективное решение.

Несколько лет Н.Н. Моисеев занимался игровой схемой Гермейера-Вателя, изучая механизмы компромиссов. В 1985 г. вместе с учениками Ю.Б. Гермейера Н.С. Кукушкиным, И.С. Меньшиковым и О.Р. Меньшиковой Н.Н. Моисеев опубликовал статью в Журнале вычислительной математики и вычислительной техники статью, в которой изложил обобщение модели Гермейера-Вателя и результаты ее исследования [138]. В следующем году с теми же соавторами Н.Н. Моисеев в журнале Доклады Академии наук СССР опубликовал статью, содержащую результаты исследования теоретико-игровой схемы, имеющей приложения к анализу экологических проблем [146]. В 1991 г. Н.Н. Моисеев с теми же соавторами опубликовал результаты применения теоретико-игрового подхода к анализу возможных компромиссов в международных отношениях [191].

Среди работ, посвященных задачам оптимального управления, отдельно стоит работа, в которой Н.Н. Моисеев построил асимптотическое представление бесконечного хвоста решения задачи оптимального управления на бесконечном интервале времени (статья опубликованная в 1974 г. в Журнале вычислительной математики и математической физики) [94]. Опираясь на теоремы Хукухары [21 списка В], он показал, что при определенных условиях исходная задача асимптотически эквивалентна задаче со свободным концом Больца, для которой справедлив принцип максимума Понтрягина. Подробно был проанализирован случай линейной дифференциальной связи.

В 1966 г. Н.Н. Моисеев начинает читать курсы лекций по методам оптимизации и теории оптимального управления студентам Московского физико-технического института, а потом студентам Московского университета. В связи с этим он предпринял анализ теории оптимизации и оптимального управления, чтобы выработать собственный взгляд на эту область знания. Эта работа нашла отражение в серии препринтов под общим названием «Методы оптимизации». В 1968 г. опубликована глава об экстремумах функций многих переменных [68.1]. В 1969 году была опубликована глава о нелинейном программировании [73.1] и глава об оптимальном синтезе управления [73.2]. Глава о динамическом программировании была опубликована в 1972 г. [82]. В 1968 г. издательством МГУ был опубликован препринт, в котором изложены численные методы теории оптимального управления [69]. Предварительная работа завершилась публикацией в 1971 г. монографии о численных

методах в теории оптимальных систем [79]. В 1975 г. вышло новое, дополненное издание монографии [101]. В 1978 г. Н.Н. Моисеев совместно со своими учениками Ю.П. Иванчиковым и Е.М. Столяровой издал учебник по методам оптимизации [108].

Работы Н.Н. Моисеева, ориентированные на экономические и другие приложения

В 1960-х годах у самых разных специалистов стал проявляться большой интерес к экономическим приложениям методов оптимального управления, решения экстремальных задач, анализа вариантов. Тому было несколько причин. Во-первых, официально были признаны экономические приложения теории линейного программирования, созданной еще в конце 1930-х годов Л.В. Канторовичем. Во-вторых, совершенствование ЭВМ дало эффективное средство численного решения задач линейного программирования такой размерности, которой было достаточно для практических планово-экономических расчетов. Экономико-математическая школа выступала под лозунгом: «Методы оптимального программирования – в практику народно-хозяйственного планирования!». Потребности экономических приложений рождали новые постановки задач и стимулировали развитие теории экстремальных задач совершенствование численных методов нелинейного программирования. В-третьих, применение методов теории оптимального управления для конструирования систем управления в авиации, в ракетостроении, в космической технике способствовало успехам этих новых отраслей техники едва ли не определяющим образом.

Все это породило надежды у инженеров и ученых, распространение успешного опыта из техники в экономику даст столь же хорошие результаты. Н.Н. Моисеева с его обостренным интересом к широким приложениям математических методов, ориентированных на ЭВМ, к решению проблем государственного масштаба не могли не захватить общие надежды. Предыдущий научный опыт привил ему культуру мышления, веками складывавшуюся в механике, в физике. Следовательно, он смотрел на экономику как на динамическую систему, состояние которой изменяется со временем под действием управляющих воздействий. Поэтому несколько лет находился в уверенности, что методы оптимального управления, использованные для перспективного планирования, повышают качество планов и, следовательно, повышают эффективность экономики. Первая, уже цитированная работа на экономическую тему 1966 г. [60] была посвящена применению методов оптимального управления в планировании производства. Эти взгляды отражены в его совместной с Ю.П.Иваниловым и А.А. Петровым работе 1971 г. [77].

Однако надежды не оправдывались, и Н.Н. Моисеев коренным образом изменил свои взгляды на то, как надо подходить к анализу управления в экономике.

Собственно говоря, новый подход Н.Н. Моисеева отражен в его теории иерархических систем, которая достаточно полно обсуждалась в предыдущем разделе. Н.Н. Моисеев исходил из множественности и разнообразия интересов субъектов экономической реальности и делал вывод, что невозможно подчинить стихию интересов единому плану. Что сама постановка задачи планирования развития экономики качественно отличается от постановки задачи о программном движении управляемого технического объекта. Эти важные соображения Н.Н. Моисеев выразил в понятии кибернетической системы и классификации кибернетических систем на рефлексные и нерефлексные системы. Излагая общие положения своей информационной теории иерархических систем, Н.Н. Моисеев постоянно иллюстрировал их простыми (правда, часто условными) примерами экономического содержания. У читателя возникает отчетливое ощущение, что теория рассчитана, в первую очередь, на экономические приложения.

В уже цитированной работе 1974 г. [103], обсуждая подходы к анализу кибернетических систем, Н.Н. Моисеев обращал внимание читателя на то, что описание их столь сложно, содержит так много неопределенностей, что трудно надеяться получить строгие результаты. Эффективным инструментом анализа кибернетических систем Н.Н. Моисеев считал имитационные модели и сочетание формальных и неформальных методов анализа в диалоге исследователя с имитационной моделью. Это соображение важнее, чем кажется на первый взгляд. Н.Н. Моисеев считал, что принципиально невозможно полностью формализовать описание процессов эволюции экономики, как и другой общественной системы, так как это результат коллективного социального творчества. В частности, он обращал внимание, что в нерефлексных кибернетических системах цель верхнего уровня нельзя считать заданной (как в рефлексных системах). Формулировка цели верхнего уровня содержательно означает организацию специальной обратной связи в системе управления, сохраняющей гомеостаз системы. Именно моделью нерефлексной кибернетической системы Н.Н. Моисеев предлагал формализовать программный метод управления и планирования в централизованной экономике СССР [97] и [111].

Если бы на этом оборвать обзор работ Н.Н. Моисеева, посвященных экономическим приложениям, то остался бы в тени целый пласт работ, в которых выражалась гражданская позиция и общественная деятельность Н.Н. Моисеева. Стоит еще раз повторить, что первоначальный взгляд Н.Н. Моисеева на общественные системы был технократическим – можно спланировать развитие и построить систему обратных связей, которые парируют непредвиденный возмущения. Новый взгляд стал эволюционным – общественное развитие есть результат коллективного творчества, направленного на решение возникающих потребностей и проблем. Описание общественных систем содержит столько неопределенностей, плохо формализуемых, но существенных факторов, что невозможно обойтись методами, сформировавшимися в естественных науках. Надо соединять их с методами, которые выработали гуманитарные науки, спокон века работая с понятиями-образами и отношениями-метафорами. Одним словом, чтобы научно прогнозировать развитие общественных систем надо концентрировать

творческий потенциал естественников и гуманитариев на решении концептуальных вопросов развития, и только потом привлекать математические методы оценки реализуемости концепций развития и рационального распределения ограниченных ресурсов в соответствии с выработанными приоритетами. Самое трудное в планировании общественного развития – понять связь проблем и наметить варианты их решения. Руководитель страны, политик должен понимать это существо проблематики стратегического планирования, он должен обладать необходимой культурой, чтобы иметь волю организационно обеспечить процедуры не директивного планирования, а стратегического планирования и выработки механизмов направления стихии социального творчества в русло усиления гомеостаза общественной системы.

Эти идеи Н.Н. Моисеев много лет пытался внушить людям, ответственным за принятие решений на государственном уровне. Он писал массу записок в высшие партийные и государственные органы, это творчество осталось неизвестным. Однако оно нашло отражение в работах Н.Н. Моисеева, скорее не научного, а научно-популярного характера.

Брошюры, выпущенные издательством «Знание» в 1970 и 1973 гг. еще отражают прежние взгляды Н.Н. Моисеева на математические методы в приложении к экономике [76] и [91]. В 1974-75 гг. издательство «Знание» выпускает брошюры, в которых уже отражено изменение взглядов Н.Н. Моисеева на проблемы управления в общественных системах [99] и [100]. Подробно свои взгляды на природу общественных систем Н.Н. Моисеев изложил в двух научно-популярных книгах, выпущенных в 1978 г. и в 1984 г. издательством «Молодая гвардия» [109] и [137].

В работе, опубликованной в 1979 г. издательством «Наука», Н.Н. Моисеев первый раз последовательно изложил свои взгляды на роль и место математических моделей и методов, значение вычислительных экспериментов на ЭВМ с моделями сложных систем в общем процессе познания природы и общества [117]. Это было полное изложение методологии математического моделирования в приложении к сложным управляемым системам.

Систематическое изложение своего подхода к решению проблем анализа и синтеза управляемых систем разной природы и математических методов, которые могут быть полезны при решении этих проблем, содержится в монографии Н.Н. Моисеева, опубликованной в 1981 г. издательством «Наука» [128].

Почти десять лет, с 1966 г. до 1975 г. Н.Н. Моисеев пытался инициировать проект создания механизмов регулирования социалистической экономики, основанных на компромиссе интересов, которые направляли бы творческую стихию масс на усиление гомеостаза общества, границы которого очерчены научными методами. Сложившаяся в стране система не восприняла его проект, и Н.Н. Моисеев потерял интерес к исследованиям экономики.

Но в 1973 г. Н.Н. Моисеев инициировал несколько проектов, которые оказались более успешными. Он осуществлял только общее руководство, проекты выполняли его ученики, поэтому в научном наследстве Н.Н. Моисеева от этих проектов почти не осталось следов.

В 1973 г. начал выполняться проект автоматизации проектирования боевых самолетов-истребителей, в котором участвовали сотрудники ВЦ АН СССР и КБ П.О. Сухого. Со стороны ВЦ АН СССР проектом руководил П.С. Краснощеков, а со стороны КБ Сухого – О.С. Самойлович. Проект завершился созданием автоматизированной системой проектирования облика истребителя, которая использовалась при проектировании истребителя СУ-27. Опыт выполнения проекта был воплощен в теории декомпозиции и агрегирования задач проектирования сложных технических систем [22 списка В]. В 1979 г. в издательстве «Знание» вышла брошюра Н.Н. Моисеева с изложением идеологии автоматизации проектирования, принятой в ВЦ АН СССР [117]. В 1981 г. за выполнение проекта Н.Н. Моисеев в числе исполнителей проекта получил Премию Совета министров СССР.

Одновременно под руководством Н.Н. Моисеева начал выполняться проект разработки моделей стока наземных вод с учетом распространения в них вредных промышленных выбросов и моделей рационального использования водных ресурсов. Некоторые результаты выполнения проекта изложены в уже цитировавшейся работе Н.Н. Моисеева [100.1] 1975 г., выполненной в соавторстве с коллективом учеников и сотрудников. В 1983 г. в журнале Гидротехника и мелиорация была опубликована статья коллектива авторов с участием Н.Н. Моисеева, в которой обсуждались особенности автоматизации проектирования водохозяйственных объектов [134.1].

Работы Н.Н. Моисеева по методологии математического моделирования сложных управляемых систем

В научной литературе термином «имитационное моделирование» обозначали описание организационно-технических, технико-экономических или экономических систем моделями, в которых учитывались случайные воздействия на системы [23 списка В]. Многократным воспроизведением реализаций случайных процессов в математической модели формировали массив данных, а потом методами математической статистики вычисляли характеристики моделей. Каждое такое воспроизведение называлось «имитационный эксперимент».

Н.Н. Моисеев поставил вопрос шире: какова роль математика-прикладника в проектах анализа и конструирования сложных систем? Размышляя над этим вопросом, он расширил толкование термина «имитационное моделирование». Н.Н. Моисеев называл имитационным моделированием воспроизведение на ЭВМ с помощью модели сложного управляемого процесса во всех доступных формальному описанию подробностях. Те переменные модели, которые не могли быть описаны формально, отдавались в распоряжение экспертов, работающих с моделью в диалоге с ЭВМ. Как правило, эксперты управляли процессом (выбирали характеристики проектируемого изделия, вариант плана и т.п.), получая информацию о ходе процесса от модели соответствующего информационного процесса (сбор, передача, хранение, обработка информации), который является обязательной частью управляемого процесса. Что касается набора статистики путем многократных имитационных экспериментов, то, если модель процесса содержит описание случайностей, эта процедура является неизбежной технической деталью.

Н.Н. Моисеев и его ученики ввели понятие «проблемно-ориентированная имитационная система» и понятие «инструментальная система имитации» [85]. Проблемно-ориентированная имитационная система это диалоговая человеко-машинная система с программными средствами поддержки имитационных экспериментов, т.е. расчетов, воспроизводивших на компьютере течение процесса с помощью его имитационной модели. Инструментальная система имитации это совокупность средств информатики, поддерживающих разработку проблемно-ориентированных систем имитации.

Предложенная Н.Н. Моисеевым концепция имитационного моделирования опиралась на новые возможности, которые предоставляли ЭВМ третьего поколения.

В рамках проблемно ориентированных имитационных систем стало возможно сочетание математического описания тех процессов в сложной системе, которые поддаются формализации, и неформальной имитации операторами тех процедур принятия решений, которые формализации не поддаются. В частности, метод имитационного моделирования усовершенствовал технологию проектирования сложных систем, заменяя натурные эксперименты с системой имитационными экспериментами с ее полной моделью на ЭВМ [24] списка В].

Одним из первых Н.Н. Моисеев понял, что ЭВМ новых поколений, предоставляя исследователям средства для оперативного вмешательства в процесс вычислений, не просто предоставляет новую техническая возможность, но дает новый инструмент познания [99]. Работая в диалоге с ЭВМ, можно экспериментировать с математическими моделями, по результатам вычислительных экспериментов проверять гипотезы, заложенные в модели, и приходиться к новым гипотезам. Такая возможность особенно плодотворна при создании математических моделей в нетрадиционных для математики областях приложений, где еще только предстоит отыскать фундаментальные принципы математического описания структур и отношений, где нельзя провести контролируемые натурные эксперименты. Н.Н.Моисеев создавал методологию математического моделирования и вычислительных экспериментов с математическими моделями в новых областях приложений одновременно с А.А. Самарским, который создавал ту же методологию в области физических приложений.

Принимаясь за решение новой проблемы, математик-прикладник, погружаясь в незнакомую предметную область, должен был найти общий язык со специалистами в этой области, чтобы понять содержание проблемы и нащупать подходы к решению. Для обществоведов важнее качественные данные о событиях, фактах, личностях, чем количественные данные. Количественные данные используются для подтверждения неформальных моделей развертывания во времени событий, связи фактов, отношений людей. Гуманитарии оперируют, скорее, образами, чем понятиями, строят размытые отношения образов-понятий. Возникает проблема, как сочетать их неформальные методы исследования и формальные методы – они необходимы, чтобы включить ЭВМ и вычислительные эксперименты в единый процесс познания общественных процессов и систем.

В качестве средства соединения формальных моделей и неформальных методов исследования общественных систем Н.Н. Моисеев и его ученики предложили имитационные системы [116]. В общественных системах взаимодействуют процессы разной природы, более или менее изученные. Характерно, что на процессы влияет сознательная деятельность людей. Физические процессы можно описывать формальными моделями, биологические процессы тоже описываются формальными моделями, хотя хуже разработанными, и т.д. Специфические общественные процессы обмена информацией, использования информации для принятия решений людьми, - одним словом, жизнедеятельность людей формализовать трудно. А имитационная система как раз состоит из совокупности математических моделей тех процессов, которые поддаются формализации, алгоритмов вычисления состояния процессов в зависимости от параметров управляющих воздействий и

средств диалога, которые дают возможность исследователям, имитирующим поведение людей, задавать параметры управления в зависимости от информированности и, главное, от иррациональных мотивов, свойственных людям. Чтобы эксперименты были контролируемы, поведение исследователей ограничено рамками предписанных сценариев. Чтобы дать исследователям рациональные ориентиры для выбора поведения, имитационная система снабжается набором упрощенных моделей принятия решений.

Н.Н. Моисеев рассматривал имитационные системы как средство познания общественных процессов, обсуждал взаимодействие имитационной модели и упрощенных моделей как процедуру выработки, проверки и отбраковки гипотез относительно структур и отношений людей в общественных системах. Для исследователя имитационная система – своеобразная экспериментальная установка, она нужна, чтобы вести диалог с непознанной реальностью: формулировать вопросы-гипотезы и получать ответы-отражения реальности в моделях.

В начале 1970-х годов в Вычислительном центре АН СССР структура имитационных систем и методология имитационных экспериментов выработывалась на опыте имитации взаимоотношений трех гипотетических государств [25 списка В]. Каждое из государств имело территорию, на которой расположены объекты экономики и вооруженные силы. Государства взаимодействовали посредством торговых обменов и вооруженной борьбы. Деятельность правительств имитировали три группы исследователей. Они вели переговоры, принимали экономические, политические и военные решения. Решения вводились в ЭВМ, и с помощью сложной модели, состоявшей из блоков экономики и вооруженной борьбы, вычислялась «история государств».

С помощью имитационной модели взаимоотношений греческих полисов были не только реконструированы количественные характеристики истории войны Афинского и Пелопонесского союзов, но и системно проанализированы, согласованы разноречивые разнородные данные о хозяйственной, военной и социальной жизни греческих полисов [26 списка В].

На основе разработанной в ВЦ АН СССР модели боевых действий была создана система имитации вооруженной борьбы на театре военных действий [27 списка В]. Имитировались перемещения и боевые взаимодействия подразделений разных родов войск на местности, рельеф которой и инженерное обустройство изменялось в ходе борьбы. Была смоделирована трехуровневая система управления войсками (например, батальон-полк-дивизия или полк-дивизия-корпус) с соответствующими штабами, средствами связи, разведкой. По сути дела, это был электронный ящик для штабных игр, на нем отработывалась методология проведения игр.

Позже внутренняя логика развития исследований приведет Моисеева к синтезу гуманитарных и естественнонаучных знаний в единой концепции современного рационализма.

Работы Н.Н. Моисеева по глобальной экологии

О кибернетическом описании эколого-экономических систем Н.Н. Моисеев писал еще в 1977 г. [103], применяя к анализу их свою информационную теорию иерархических систем. Проблемами математического моделирования процессов в биосфере он начал интересоваться в конце 1970-х годов и обсуждал их с Н.В. Тимофеевым-Ресовским. В процессе работы над моделями Н.Н. Моисеев воспринял учение В.И. Вернадского о ноосфере и развил концепцию коэволюции человека и природы [262]. К тому времени уже были широко известны работы Форрестера и Медоуза по глобальной динамике. Отправной точкой исследований Никиты Николаевича была критика этих работ [121]. Он разработал программу, целью которой было создание системы моделей, описывающих взаимодействия процессов в биосфере и человеческой активности [131]. На первом этапе была построена модель взаимодействия процессов в атмосфере и в океане, влияющих на погоду и климат [124]. В ВЦ РАН в начале 1980-х годов были созданы одни из первых эффективно работающих моделей общей циркуляции атмосферы, морского льда и деятельного (верхнего) слоя океана, составивших глобальную климатическую модель ВЦ АН СССР, которая позволяла вести климатические расчеты на десятки лет. Никита Николаевич работал над этой моделью вместе своим учеником Владимиром Валентиновичем Александровым. В.В. Александров проводил численное исследование модели и вычислительные эксперименты с ней [124].

Модель климата ВЦ РАН активно использовалась для расчетов атмосферных и климатических процессов на Земле. Проведены расчеты, которые воспроизвели современный климат, выполнены многочисленные эксперименты по оценке антропогенных и естественных изменений климата (последствия ядерной войны, увеличение концентрации углекислого газа, крупных вулканических извержений, изменений подстилающей поверхности и др.).

В начале и середине 1980-х годов на основе модели климата были сделаны ставшие всемирно известными расчеты климатических последствий крупномасштабной ядерной войны – «ядерной зимы» [136]. Этот эффект связан с выбросами огромного количества сажи, дыма и пыли в атмосферу, которые почти полностью и надолго перекрывали поступление солнечной радиации на поверхность Земли в регионах северного полушария, подвергшихся ядерным атакам. Первые расчеты климатических последствий ядерной войны между США и СССР на основе сце-

нария американского астронома К. Сагана, проведенные В.В. Александровым и его коллегами, работавшими под руководством Н.Н. Моисеева, дали географическое распределение всех метеорологических характеристик в зависимости от времени, прошедшего с момента ядерного конфликта [140]. Одновременно сходные результаты по согласованному сценарию развития ядерной войны были получены американскими учеными. Был обнаружен главный климатический эффект ядерной войны, независимо от ее сценария, - резкое, исключительно сильное и длительное охлаждение воздуха над континентами - «ядерная зима». За короткий срок в разных регионах температура понизилась бы приблизительно на 150-400 С. Особенно тяжелых последствий следовало ожидать в летний период, когда на обширных территориях северного полушария температура могла бы упасть ниже точки замерзания воды. Иными словами, все то живое, что не сгорело во время ядерных пожаров, должно было бы вымерзнуть. «Ядерная зима» повлекла бы за собой лавину губительных последствий. Возникли бы существенные температурные контрасты между сушей и Мировым океаном, поскольку океан обладает огромной термической инерцией, и воздух над ним практически не охлаждался бы. С другой стороны, изменения в атмосфере подавили бы конвективные процессы, и над погруженными в ночь, скованными холодом континентами разразились бы жестокие засухи. Под руководством Н.Н. Моисеева были разработаны и экологические модели, с помощью которых были спрогнозированы экологические и демографические последствия ядерной зимы, такие как глобальное похолодание и увеличение ультрафиолетового излучения. После «ядерной зимы» биосфера не погибла бы, но осталась бы в «подавленном» состоянии. Исследования ученых, в частности коллектива, который организовал Н.Н. Моисеев в ВЦ РАН для моделирования экологических процессов, показали, что человек мог бы погибнуть в «послеядерной» биосфере [151]. Таким образом, было обнаружено, что биосфера может быть в таком состоянии, в котором человеку как виду нет места.

Открытие феномена ядерной зимы имело научный интерес, и, кроме того, получило широкий общественный и политический отклик и повлияло на изменение военных доктрин [142]. Эта работа принесла Никите Николаевичу мировую известность.

Характеризуя биосферные проблемы, Н.Н. Моисеев особое внимание обращал на способность биоты регулировать процессы в биосфере [227]. Он ввел понятия степень и скорость направленности эволюционного процесса, трактуя эволюцию как изменения биоты от зарождения жизни. Скорость может изменяться в разные этапы развития биосферы. Им были рассмотрены также некоторые конкретные механизмы, способствующие или не способствующие стабильному развитию биосферы. Так, при небольших антропогенных воздействиях на биосферу биота может частично компенсировать неблагоприятные воздействия, а при больших — наоборот усиливать результаты этих воздействий [298].

Важным примером этого является глобальный цикл двуокиси углерода в биосфере, модель которого разработана А.М. Тарко по инициативе Н.Н. Моисеева. При небольших промышленных выбросах двуокиси углерода в атмосферу часть их биота поглощает, и это через механизм парникового эффекта частично стабилизирует

климат (принцип Ле-Шателье). Но если количество углерода в атмосфере станет достаточно большим, то не исключено, что биота начнет выделять двуокись углерода, тогда климат станет меняться еще сильнее, и в связи с этим биотические процессы будут угнетаться [140].

Результаты исследований глобальных экологических проблем были изложены в монографии, написанной в 1985 г. в соавторстве с В.В. Александровым и А.М. Тарко [140].

Концепция универсального рационализма и публицистика Н.Н. Моисеева

Исследования проблем глобальной экологии, стабильности биосферы и антропогенных воздействий на процессы в ней [209] привели Н.Н. Моисеева к критическому осмыслению представлений о значении природы в развитии общества и о роли человечества в процессах планетарного масштаба. Развивая идеи Пуанкаре, Бора, Вернадского, он создал оригинальную концепцию, названную универсальным рационализмом [262]. В рамках этой концепции Н.Н. Моисеев пришел к новому пониманию принципов коэволюции человека и природы и понял необходимость новых нравственных императивов как условия сохранения человека как биологического вида на планете [301].

Главным постулатом современного рационализма Н.Н. Моисеева [262] является утверждение, что Вселенная представляет собой единую систему (Универсум), все ее элементы связаны между собой различными связями. Связи существуют и могут быть измерены или наблюдаемы. Процесс наблюдения является реализацией связей в системе, следовательно, вносит изменения в наблюдаемый объект.

Другим важным положением современного рационализма является новое понимание стохастичности и неопределенности. В основе классического рационализма лежат механицизм и детерминизм XVII-XVIII веков, выросшие из небесной механики, которая могла не только описать движения планет, но и предсказать их положение на много лет вперед с большой точностью. Современная наука показывает, что детерминированные процессы могут порождать процессы, обладающие всеми свойствами стохастических.

Еще одно важное положение концепции Н.Н. Моисеева — в математическом отношении система может обладать большим количеством положений равновесия (вплоть до бесконечного количества), при этом существуют такие состояния системы, когда мы не знаем, к какому из этих положений равновесия система будет двигаться [227]. Поведение системы сразу после достаточно сильного воздействия на нее может стать непредсказуемым. Явление, когда система из некоторой области состояний может перейти в одно из двух или нескольких положений равновесия, в математике называется бифуркацией. Область, в которой возможно такое поведение, называется областью бифуркации.

Фундаментальным положением современного рационализма является универсальный эволюционизм. Все события в Универсуме происходят за счет причин

лежащих в самой системе. Согласно интерпретации принципа дополнительности Н. Бора других причин не существует. Следовательно, все происходящие в системе изменения (эволюция) являются процессом самоорганизации. Универсум постоянно изменяется. Это есть универсальный эволюционизм [226]. Термины самоорганизация и универсальный эволюционизм — синонимы.

Для описания процесса самоорганизации Н.Н. Моисеев применял расширительно понимаемый язык дарвиновской триады: изменчивость, наследственность, отбор (естественно, сама эволюция также понимается им расширительно). Изменчивость понимается как реальное проявление стохастичности и неопределенности, о котором говорилось выше. Наследственность означает лишь то, что «настоящее и будущее любой системы в Универсуме, в том числе и его самого, зависит от прошлого». Если мы описываем вполне детерминированную систему, то можем восстановить все ее прошлое. Такая система называется системой с бесконечной памятью. Но есть много систем с конечной памятью. Например, атмосфера Земли имеет ограниченную память. Она «помнит» свое предшествующее состояние около двух-трех недель. Понятие отбора связано с тем, что система изменяется в соответствии с определенными правилами, из всего множества новых состояний реализуются те, которые не противоречат законам природы (вариантов реализации, как уже говорилось, может быть много).

Свою концепцию Никита Николаевич строил как математик и как философ [305]. Он построил и исследовал математическую модель регуляторных свойств биоты [227] и, в то же время, настойчиво указывал на необходимость синтетического подхода естественных и гуманитарных наук к проблемам природы и человечества. В концепции универсального рационализма он предложил схему мирового процесса самоорганизации [121], которая сочетала в себе подходы естествознания и философии. Концепция покоилась на эмпирических обобщениях и переварила в себе фундаментальные достижения науки XX века. Основные гипотезы о связанности всех элементов Вселенной, о множественности представлений сложной системы, о случайности и неопределенности, которые свойственны явлениям мира, об отборе и т.д. являются философскими осмыслениями фундаментальных положений современных наук о неживой и живой природе. Основываясь на исходных гипотезах, Н.Н. Моисеев представил общую картину коэволюции природы и общества [262]. Применяя общие положения универсального эволюционизма к анализу современного антропогенеза и цивилизационных разломов, он не только предупреждал о катастрофах, грозящих техногенной цивилизации, но выявлял их эволюционные и экологические основания, намечал пути общественного развития, на которых их можно было бы избежать [284].

Последние годы его жизни были наполнены интенсивной интеллектуальной и духовной работой, осмысливанием философских проблем естествознания, проблем синтеза естественных и гуманитарных наук, страстной публицистикой, темой которой были судьба России и ответственность интеллигенции [208].

Концепция универсального рационализма Н.Н. Моисеева и его публицистика нашли широкий отклик общественности [2 сноска С].