Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. И. Аптекарев, А. Л. Афендииков, Б. Н. Четверушкин, М. В. Келдыш – ученый и государственный деятель (к столетию со дня рождения), *УМН*, 2011, том 66, выпуск 1, 187–198

DOI: <https://doi.org/10.4213/rm9408>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением <http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.224.135.184

26 апреля 2023 г., 05:28:55

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЖИЗНЬ

М. В. Келдыш — ученый и государственный деятель
(к столетию со дня рождения)

10 февраля 2011 г. исполнилось сто лет со дня рождения Мстислава Всеволодовича Келдыша. Масштаб личности этого выдающего ученого и государственного деятеля невозможно переоценить. В М. В. Келдыше удивительным образом сочетались ученый, инженер и организатор науки. Успех многих его прикладных работ был предопределен его высоким научным потенциалом, его умением для конкретной задачи найти адекватную математическую модель и увидеть стоящие за ней математические проблемы. Он пришел в науку в эпоху арифмометров, когда численное решение любой сколько-нибудь серьезной задачи было проблемой, и именно с его именем связано становление теории численных методов, математического моделирования, и более широко, прикладной математики в нашей стране.

Его знали во всем мире, зачастую отождествляя успехи советской науки с его именем. Годы его жизни 10.02.1911–24.06.1978 пришлись на трагическую и одновременно героическую эпоху в жизни страны. На первый тенденциозный взгляд в нем – трижды Герое Социалистического Труда, награжденном семью орденами Ленина, члене ЦК КПСС, Председателе комитета по Ленинским и Государственным премиям при Совете Министров СССР – легко увидеть верного слугу режима. С другой стороны, арестованные по нелепым обвинениям в годы репрессий братья Михаил и Александр (29 мая 1937 г. Михаил был расстрелян), дядя Игорь Михайлович, ушедший с Белой Армией за границу, а также дворянское происхождение вместе с некоторыми фактами биографии позволяют утверждать, что его взаимоотношения с официальной идеологией и советской властью были далеко не так просты и однозначны. Например, А. А. Ляпунов рассказывал, что Славу Келдыша несколько раз пытались исключить из Московского университета за “непролетарское происхождение” и наличие родственников за границей, что и в дальнейшем ему не один раз поминалось. Президент АН терялся, когда к нему приходили делегации пионеров. “Они просят меня рассказать, каким я был пионером. Но ведь таких, как я, в те годы в пионеры не брали,” – говорил он.

Вместе с тем война, последовавшие голод и разруха, а также вскоре начавшиеся противоречия в стане стран-победительниц вызывали естественное желание обезопасить страну от новой войны. Гарантией укрепления оборонной мощи страны были

создание ядерного оружия и перевооружение армии на основе новой ракетно-ядерной техники. Для решения этой грандиозной задачи от ученых потребовался небывалый патриотический подъем и самоотверженный труд.

Историческая заслуга М. В. Келдыша перед отечественной наукой и культурой состоит в том, что в сложную и противоречивую эпоху он нашел такое место в структуре общества и государства, что смог, зачастую вопреки всем препонам, обстоятельствам и волюнтаризму сменяющихся вождей, продолжать работать на благо науки и культуры.

Чтобы сколько-нибудь полно и непредвзято написать о влиянии Мстислава Всеволодовича на историю страны и развитие науки в его эпоху, понадобятся и серьезные исторические исследования, и талант большого писателя. Однако для всех сколько-нибудь близко знавших его очевидно, что служил он своей Родине и науке. А своими разработками он внес достойный вклад в победу в Великой Отечественной войне. В создание же ракетно-ядерного щита нашей Родины и в успехах в освоении Космоса его вклад был во многом определяющим. Об этом говорят с любовью написанные воспоминания современников [1].

М. В. Келдыш родился в Риге, где его отец, известный инженер-строитель Всеволод Михайлович (1878–1965), был в то время адъюнкт-профессором в Рижском политехническом институте. Его дед Михаил Фомич Келдыш был врачом и за труды по освоению Закаспийского края был жалован генеральским чином и причислен к дворянскому сословию. Жена Михаила Фомича Наталья Николаевна (урожденная Брусилова) происходила из дворянского сословия и была двоюродной сестрой знаменитого генерала А. А. Брусилова. Мать Мстислава Всеволодовича Мария Александровна Келдыш (Скворцова), родилась в Тифлисе и выросла в дворянской семье. Ее отец и дед были заслуженные генералы, участники Кавказской войны.

В 1927 г., окончив школу, он собирался идти по стопам отца и стать инженером-строителем, но не смог поступить в инженерно-строительный институт по возрасту (исполнилось только 16 лет). По совету сестры Людмилы он в 1927 г. поступает в Московский университет на математическое отделение.

Еще на студенческой скамье М. В. Келдыш, под влиянием М. А. Лаврентьева, начал интересоваться проблемами комплексного анализа. В те годы методы теории функций комплексного переменного широко использовались для решения двумерных задач механики сплошной среды, позволяя доводить найденные аналитически решения “до числа”.

В 1931 г. молодым выпускником МГУ пришел работать Мстислав Всеволодович Келдыш в Центральный аэрогидродинамический институт, в общетеоретическую группу. В ЦАГИ он проработал до декабря 1946 г. сначала инженером, а с 1941 г. – начальником отдела динамической прочности. В то время в Институте работало большое число первоклассных математиков и механиков. Научную жизнь Института возглавлял выдающийся механик С. А. Чаплыгин. Таким образом, М. В. Келдыш с первых же шагов своей деятельности попал в среду увлеченно, творчески работающего коллектива, занятого решением выдвигаемых бурным развитием авиации задач из области аэрогидродинамики, теории прочности конструкций, устойчивости движения.

С 1933 г. Мстислав Всеволодович совмещает работу в ЦАГИ и Математическом институте им. В. А. Стеклова АН СССР (МИАН). Он вел научные исследования в МИАН до 1953 г., прервав их на три военных года. О стремительности научного роста молодого математика красноречиво свидетельствуют даты: сентябрь 1934 г. – поступает в аспирантуру МИАН; 1935 г. – без защиты диссертации М. В. Келдышу присуждают ученую степень кандидата физико-математических наук; 1936 г. он без защиты получает степень кандидата технических наук и звание профессора по специальности “аэродинамика”. Так стремительно пришла научная зрелость.

Говоря о научных результатах М. В. Келдыша, надо отметить, что в нашей стране его научному наследию было уделено достаточно внимания. В 1985 г. издательство “Наука” выпустило 4-томное собрание его “Избранных трудов” – тома озаглавлены соответственно “Математика” [2], “Механика” [3], “Космонавтика и ракетная техника” [4] и “Общие вопросы развития науки” [5]. Существуют замечательные обзоры научных результатов М. В. Келдыша (см., например, [6] и [7]). В их составлении принимали участие Н. Н. Боголюбов, И. М. Гельфанд, Л. И. Седов, К. И. Бабенко, С. Н. Мергелян, Н. Н. Ченцов, А. В. Забродин и многие другие. Тем не менее, в этой юбилейной статье невозможно не отметить ключевые результаты М. В. Келдыша в математике и механике в их современном развитии.

Первые научные публикации М. В. Келдыша составили цикл из двух работ: “Внешняя задача Неймана для нелинейных уравнений эллиптического типа с приложением к теории крыла в сжимаемом газе” и “К теории винта проф. Н. Е. Жуковского”, выполненных в сотрудничестве с Ф. И. Франклем (см. [3; с. 13–42 и с. 43–74]).

Первая из этих работ опубликована в 1934 г. в журнале “Известия Академии наук СССР”. В ней получено имеющее большое прикладное значение обобщение формулы Жуковского на случай обтекания профиля дозвуковым потоком сжимаемого газа. Проблема перенесения формулы Жуковского с несжимаемой жидкостью на случай сжимаемого газа сыграла исключительную роль в истории математики и механики, а работа М. В. Келдыша во всей этой проблематике имеет фундаментальное значение. В самом деле, когда с ростом скоростей полета самолетов стала актуальной задача учета сжимаемости воздуха, механики обратились к исследованию потенциальных плоских дозвуковых течений газа. При этом перед ними возникала существенная трудность – квазилинейный характер уравнений, описывающих эти течения. В то время теория квазилинейных эллиптических уравнений и систем уравнений делала только первые шаги. Работа М. В. Келдыша основана на самой передовой для того времени математической технике. В послевоенные годы эта работа имела многочисленные продолжения, когда газодинамики учитывали сжимаемость при решении тех или иных задач, отыскивали решение в виде рядов по степеням числа Маха и при этом находили в явном виде несколько первых членов ряда. Так делал еще Рэлей, но вопрос сходимости рядов не затрагивался. В работе М. В. Келдыша вопрос о сходимости – основной. Задача об обтекании газом стимулировала интерес математиков к задаче Неймана для квазилинейных эллиптических систем, и уже после войны возник поток работ в этой области. В свою очередь, исследование этих задач вызвало к жизни теорию квазиконформных отображений и теорию обобщенных аналитических функций. В настоящее время обоснование формулы Жуковского для более широкого диапазона чисел Маха получено с помощью топологических методов, но в то время, когда писалась работа М. В. Келдыша, эти методы еще не были открыты. Эта история с обобщением формулы Жуковского на случай обтекания сжимаемым газом показывает, сколь плодотворно сотрудничество математики и механики и сколь важно для механиков умение использовать самые современные достижения математики.

Во второй работе нелинейность вызвана тем, что свободные вихри занимают в жидкости область, граница которой а priori неизвестна. Более того, пока не доказана теорема существования, неизвестно, возможно ли совместное с уравнениями гидродинамики положение равновесия системы вихрей, заменяющих пропеллер, и свободных вихрей. С математической точки зрения задача сводится к решению системы 8 нелинейных интегро-дифференциальных уравнений. Теорема существования и, тем самым, строгое обоснование теории Н. Е. Жуковского устанавливается с помощью нестандартного метода итераций и нетривиальных оценок, при этом в качестве первого приближения получаются формулы Н. Е. Жуковского.

Работа в ЦАГИ диктует тематику первых работ. Большой цикл работ молодого исследователя посвящен теории плоских безвихревых течений идеальной жидкости.

Сюда относятся работа по жесткому удару пластинки о воду (см. [3; с. 112–120]) и совместная с М. А. Лаврентьевым работа об одновременном ударе о воду нескольких жестких пластинок (см. [3; с. 104–112]). Несколько работ посвящено вопросу о движении тела под поверхностью тяжелой жидкости, в предположениях теории малых волн (см. [3; с. 100–103, с. 120–151]). Теория волн малой амплитуды на поверхности тяжелой жидкости – классическая широко развитая область гидродинамики, где господствовавшим методом исследования был метод Фурье. В своих работах М. В. Келдыш широко использовал метод теории функций комплексного переменного, сделав решающий шаг, когда он ввел вместо искомой функции не характеристическую функцию потока, а некоторую линейную комбинацию характеристической функции и ее производной, упростив тем самым условие на свободной поверхности. Это позволило ему решать задачу определения течения при заданной особенности под свободной поверхностью, и в частности, когда задан источник, вихрь, мультиполь. В начале 30-х годов появился ряд конструкций глассеров с подводными крыльями, в связи с чем стала актуальной задача о движении крыла вблизи поверхности тяжелой жидкости. В работе “О движении крыла под поверхностью тяжелой жидкости” (написанной совместно с М. А. Лаврентьевым) построена теория движения изолированного тонкого крыла под поверхностью тяжелой жидкости (см. [3; с. 120–151]). В этом исследовании получены формулы для подъемной силы, волнового сопротивления и момента. Работа М. В. Келдыша о течении с заданной особенностью имела многочисленные продолжения. Далее, в рамках строгой постановки М. В. Келдышем дано (совместно с М. А. Лаврентьевым) решение задачи о движущейся пластинке, совершающей малые гармонические колебания (см. [3; с. 90–94]). Формулы для сил и моментов получены в явном виде через функции Бесселя. В результате их анализа установлен замечательный результат о возникновении силы тяги на некоторых режимах колебаний. Наконец, в работе “К теории крыла конечного размаха, колеблющегося в потоке воздуха” та же задача решена для крыла произвольной формы в плане (см. Докл. АН СССР, 21:5 (1938), 224–227). Следует отметить, что в этих работах не только решены конкретные задачи гидродинамики, но и даны явные решения ряда краевых задач теории гармонических и аналитических функций, которые впоследствии неоднократно использовались в исследовании задач механики сплошных сред.

Характерной чертой этих прикладных работ по механике было виртуозное использование методов теории функций комплексного переменного, и неудивительно, что это вызвало потребность у молодого ученого в более углубленных теоретических исследованиях в комплексном анализе. Здесь им были получены важные результаты в теории конформных отображений, в теории краевых задач для гармонических функций, в теории приближений аналитических и гармонических функций.

В январе 1938 г. состоялась защита докторской диссертации на тему “О представлении рядами полиномов функций комплексного переменного и гармонических функций”.

С этой диссертацией связан цикл исследований М. В. Келдыша в области теории приближения функций комплексного переменного. Эта проблематика всегда представляла значительный общематематический интерес. Здесь был получен, пожалуй, самый знаменитый результат М. В. Келдыша о характеристизации замкнутых областей комплексной плоскости, на которых всякая аналитическая и непрерывная вплоть до границы области функция может быть равномерно приближена многочленами. История этой задачи ведет отсчет с 1885 г. Именно этим годом датируются не только теорема Вейерштрасса о возможности равномерного приближения многочленами действительнозначной непрерывной функции на произвольном компакте действительной оси, но и теорема Рунге. Теорема Рунге (в версии Д. Уолша) утверждает, что если компакт является замыканием жордановой области, то связность его дополнения эквивалентна возможности равномерного приближения многочленами на этом компакте любой непрерывной и аналитической на внутренности этого компакта функции. Ины-

ми словами, в теореме Рунге–Уолша дополнение к компакту само является жордановой областью. Именно на снятии излишнего требования “жордановости” для области, дополняющей компакт до расширенной комплексной плоскости, и были сконцентрированы усилия аналитиков в конце первой половины 20-го века. Сначала, в 1934 г. – М. А. Лаврентьев для компактов без внутренних точек убрал условие “жордановости” области дополнения. Тем самым, теорема Лаврентьева представляет собой предельно широкое обобщение классической теоремы Вейерштрасса – любая непрерывная на ограниченном замкнутом множестве (компакте) функция есть равномерный предел многочленов в том и только том случае, когда множество не разбивает плоскость и не содержит областей (т. е. компакт не содержит внутренних точек и его дополнение связно).

М. В. Келдыш, напротив, рассматривает случай, когда компакт есть замыкание области. Ставшая уже классической теорема М. В. Келдыша формулируется просто: любая функция, непрерывная на замыкании области и аналитическая на множестве его внутренних точек, представима равномерно сходящимся рядом полиномов в том и только том случае, когда дополнение к замыканию области есть область, содержащая бесконечно удаленную точку.

Этот результат был опубликован в 1945 г. в журнале “Математический сборник”, том 16(58), № 3 (см. [2; с. 104–110]). Точку в этой проблеме поставил в 1951 г. С. Н. Мергелян (бывший аспирантом М. В. Келдыша). Он доказал (см. [8]), что необходимым и достаточным условием на компакт для существования последовательности многочленов, равномерно приближающих непрерывную на компакте и аналитическую внутри функцию, является связность дополнения этого компакта. Тем самым, в одной формулировке были объединены обе теоремы – и Лаврентьева и Келдыша. Во всей почти столетней истории исследований по равномерным приближениям теорема М. В. Келдыша занимает узловое место, а заложенная в ее доказательстве идея усреднения оказалась весьма плодотворной и для теоремы Мергеляна, и для теоремы Витушкина [9], которая решила эту же задачу характеристики компактов, позволяющих равномерные приближения рациональными функциями.

Два других цикла работ по теории приближений в комплексной плоскости посвящены среднеквадратическим по площади области приближениям многочленами и приближениям целыми функциями.

Среднеквадратические приближения по площади области описывают ситуацию, когда близость между функцией и приближающим ее многочленом измеряется через интеграл по площади области от квадрата модуля разности между ними. Среди результатов этого цикла – общий метрический критерий полноты для широкого класса “некаратеодориевых” областей (см. [2; с. 82–91]), установленный с помощью развитого М. В. Келдышем так называемого метода вывода полюсов, оказавшегося чрезвычайно плодотворным во многих задачах. В этом цикле также изучалась проблема полноты системы полиномов в квадратичной метрике с весом (см. [2; с. 123–125 и с. 125–141]). М. В. Келдышем найден порядок убывания веса $h(z)$ в односвязной области D при стремлении к границе ($d(z)$ – расстояние до границы D)

$$\liminf_{d \rightarrow 0} \frac{\ln \ln \ln(1/h(z))}{\ln(1/d(z))} > 2,$$

обеспечивающий полноту полиномов с весом h в области D . С другой стороны, М. В. Келдыш построил пример области такой, что для любого веса h , удовлетворяющего неравенству

$$\liminf_{d \rightarrow 0} \frac{\ln \ln \ln(1/h(z))}{\ln(1/d(z))} < 2,$$

система многочленов не полна. Изумительный по красоте результат! Примечательно, что полное доказательство этого результата опубликовано в том же самом томе 16(58) журнала “Математический сборник” за 1945 г. (только в № 1), что и знаменитая ныне

теорема о равномерных полиномиальных приближениях в замкнутых областях со связным дополнением.

Равномерные приближения посредством целых аналитических функций – естественное обобщение полиномиальных приближений. Переход от многочленов к целым функциям меняет характер поведения аппроксимирующих функций на бесконечности – вместо полюса появляется существенная особенность, что значительно расширяет аппроксимационные возможности и позволяет ставить новые задачи. Одной из таких задач является приближение с касанием на бесконечности. Это когда требуется не только малость отклонения аппроксимируемой функции от аппроксимирующей всюду на множестве (предполагаемом неограниченным), но и предписанное убывание к нулю указанного отклонения при стремлении к бесконечности. Среди результатов этого цикла можно выделить решение М. В. Келдышем проблемы равномерного приближения с касанием в неограниченных замкнутых областях при естественном предположении об аналитичности функции внутри области (см. [2; с. 141–143]). При этом произвольной скорости касания уже ожидать нельзя – каждый раз предельно возможная скорость касания определяется геометрией области вблизи бесконечности. Для всех наиболее характерных типов областей М. В. Келдыш указывает соответствующий им допустимый порядок касания и устанавливает точность найденных им скоростей. То же, между прочим, публикация 1945 г. (Докл. АН СССР, т. 47, № 4).

Вернемся к докторской диссертации М. В. Келдыша. Третья глава озаглавлена “Представимость функций трех переменных рядами гармонических полиномов и устойчивость задачи Дирихле”. В тот же 1938 г. – год защиты диссертации – выходит заметка (Докл. АН СССР, т. 47, № 4 – см. [2; с. 141–143]), а в 1941 г. полная версия работы “О разрешимости и устойчивости задачи Дирихле” (УМН, вып. 8 – см. [2; с. 237–294]). Работы по теории гармонических функций, проблеме Дирихле для уравнения Лапласа – несомненно, одна из вершин математического творчества М. В. Келдыша. Задача Дирихле рассматривается им в самой общей постановке, без наложения ограничений на границу области, но при классических предположениях относительно граничных значений, которые считаются непрерывными. Если в вопросах разрешимости задачи Дирихле М. В. Келдыш развивает теоретико-потенциальный подход Винера, связанный с использованием емкостей, то задача устойчивости решения, по сути, им рассмотрена впервые. В этой связи М. В. Келдыш впервые поставил принципиально новый вопрос качественного характера: при любых малых изменениях границы фиксированной области и произвольных граничных данных будет ли соответственно мало изменяться решение задачи Дирихле внутри области, в данной граничной точке, во всей замкнутой области? Им получено, что ответы на эти три вопроса зависят только от области и выбранной на ее границе точки. При этом, наряду с общей теорией устойчивости, М. В. Келдыш в работе, выполненной совместно с М. А. Лаврентьевым (см. [2; с. 191–225]), построил пример области, ограниченной жордановой поверхностью с конечной площадью, в которой задача Дирихле разрешима при любых непрерывных данных, но неустойчива внутри области. Множество точек неустойчивости имеет положительную гармоническую меру, но поверхностную меру нуль.

Вот так прикладные, “производственные” задачи по обтеканию сжимаемым газом и несжимаемой жидкостью стимулировали глубокие теоретические исследования в комплексном анализе – теории приближений в комплексной плоскости многочленами и целыми функциями, теории граничных задач для аналитических и гармонических функций.

Тем временем, в 1935 г., академик С. А. Чаплыгин перевел М. В. Келдыша в группу вибраций ЦАГИ и поручил ему заняться проблемой флаттера самолетов. Мстислав Всеволодович отнесся к этому заданию без энтузиазма: слишком далеки были новые задачи от его научных интересов. Конечно, видел он и то, сколь велико было общее

невежество в этом вопросе. В соответствии с духом времени, неизбежные при решении столь сложной задачи путаница и ошибки сопровождались доносами в органы и письмами руководству страны. Однако в те времена выбирать не приходилось. И на новом месте он стал работать с полной отдачей.

Отметим, что 20 июля 1938 г. был создан Научно-технический совет ЦАГИ, и в него вошел Мстислав Всеволодович; затем он становится членом Ученого совета ЦАГИ. По указанным выше причинам его долгое время не допускали к работам с секретными материалами.

Протицируем характеристику инженера Келдыша, подписанную 14.10.39 г. ВРИД. НАЧ. ФИЛИАЛА отдела № 1 (Режимного отдела секретности) Журавченко: “Мстислав Всеволодович Келдыш работает в ЦАГИ с 1931 г. Он является, несмотря на молодость, одним из крупнейших научных работников в СССР в области аэродинамики. В высшей степени талантливый математик и теоретик, он умеет свои глубокие знания приложить к промышленной практике. Он руководит научной группой по вибрациям самолета – труднейшему катастрофическому вопросу; он с группой разработал проблему настолько, что заключениями его группы полностью руководствуется промышленность по вопросам вибрации. В связи с этим М. В. Келдыш очень много и с исключительной пользой работает по заданиям промышленности, и засекречивание его необходимо для устранения, для дела, препятствий, которые сейчас возникают по поводу того, что М. В. Келдыш не засекречен”. В конце 1939 г. соответствующий допуск к секретным материалам был оформлен, сам он засекречен, т. е. секретной стала и информация о том, чем он занимается.

В работах ЦАГИ по расчету флаттера крыла либо хвостового оперения самолета аэродинамические нагрузки брались на основе гипотезы стационарности с поправкой на конечность размаха крыла и с учетом его конструктивных особенностей. Крыло самолета является сложной упругой системой с бесконечным числом степеней свободы и, для создания методики расчета на флаттер, оно рассматривалось как балка, работающая на кручение и изгиб.

В результате математическая модель флаттера сводилась к несамосопряженной задаче на собственные значения для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Скорость полета входит в уравнение как параметр, и требуется определить ее критическое значение, при котором возможны незатухающие колебания. В наши дни численное решение такой задачи на персональном компьютере не составляет труда, но в те годы, когда ЭВМ не существовало, это была задача колоссальной трудности. Для ее приближенного решения был предложен метод, оказавшийся адекватным тем упрощениям, которые были сделаны в постановке задачи. Задача решалась с помощью метода Галёркина, причем в вычислениях бралась всего одна базисная функция! (Кстати, И. М. Виноградов говорил, что этот метод правильнее называть методом Бубнова–Галёркина–Келдыша–Михлина.) Вместе с сотрудниками М. В. Келдыш в многочисленных работах рассмотрел ряд задач о флаттере (см. [3; с. 189–467]). Замечательным являлось то, что, несмотря на грубость схемы, принятой для расчета критической скорости флаттера, она правильно схватывала сущность явления и в результате расчетов получались верные значения критической скорости. М. В. Келдыш занимался и экспериментальной стороной теории флаттера – моделированием в трубах. С этой целью он рассматривал законы механического подобия, чтобы на их основе строить специальные флаттерные динамически подобные модели. Работы М. В. Келдыша и возглавляемого им тогда коллектива не только позволили рассчитать для любого данного самолета критическую скорость флаттера, но и дали в руки конструкторам средства борьбы с ним. Тем самым, в этом цикле работ М. В. Келдыш выступает как наделенный глубокой интуицией инженер-механик и экспериментатор.

Но и в этой области проявилась характерная черта творчества М. В. Келдыша – умение найти в конкретной прикладной задаче общую теорию, лежащую в ее основе. В связи с задачей флаттера М. В. Келдыш провел исследование сходимости метода

Бубнова–Галёркина для неконсервативных систем и доказал применимость этого метода численного интегрирования дифференциальных уравнений для решения многих задач механики и математической физики (см. [2; с. 357–377]).

Еще одним примером “обратной связи” между практикой и теорией в творчестве М. В. Келдыша служит его работа [2; с. 299–301] об уравнениях эллиптического типа, вырождающихся на части границы области. В этой работе впервые было обнаружено, что для эллиптических в области и вырождающихся на части границы уравнений имеется инвариантное относительно замены независимых переменных разбиение границы. При некоторых условиях на младшие члены в задаче Келдыша часть границы области освобождается от задания граничных условий, а на дополнении задаются данные Дирихле. Решение этой краевой задачи можно рассматривать как стационарное распределение температуры в движущейся жидкости. Эта небольшая по объему работа имела широкий резонанс во всем мире и положила, по существу, начало теории эллиптических уравнений, вырождающихся на границе области, которая в дальнейшем развилась в теорию уравнений с неотрицательной характеристической формой.

Опять же, задачи вибраций самолетных конструкций привели Мстислава Всеволодовича к последующим занятиям теорией несамосопряженных операторов, в результате которых появилась его работа “О полноте собственных функций некоторых классов несамосопряженных операторов” (см. [2; с. 305–331]).

В 1951 г. М. В. Келдыш опубликовал часть результатов своих исследований по спектральной теории несамосопряженных операторов (см. [2; с. 301–305]) – по сути, это была одна из последних его математических публикаций. В этих исследованиях он впервые рассматривает широкий класс абстрактных операторов в гильбертовом пространстве, полиномиально зависящих от спектрального параметра. Сейчас такие семейства операторов называются пучками Келдыша. В частности, были получены условия на сохранение дискретного спектра при несамосопряженных возмущениях. Вот один из примеров теоремы Келдыша, покрывающих основную часть приложений.

Пусть H – самосопряженный (неограниченный) оператор с дискретным спектром $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$, действующий в гильбертовом пространстве $\mathcal{L}$, и пусть для некоторого $\rho > 0$ сходится ряд

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{|\alpha_k|^\rho} < \infty.$$

Тогда при любом линейном операторе B таком, что оператор BH^{-1} вполне непрерывен, спектр оператора $H + B$ дискретен и система его собственных и присоединенных векторов полна.

Отметим, что при исследовании распределения собственных значений пучка операторов по схеме Карлемана М. В. Келдыш столкнулся с необходимостью применения тауберовых теорем нового типа. В тауберовых теоремах для отображения $\kappa: \varphi(x) \mapsto \Phi(x)$, где $\Phi(x) = \int_0^\infty k(x, t)\varphi(t) dt$, по асимптотическим свойствам $\Phi(x)$ делаются заключения о поведении на бесконечности функции $\varphi(x)$. М. В. Келдыш нашел новый тип тауберовых теорем и разработал новый метод доказательства таких теорем [3; с. 150–159]. Для отображения, заданного ядром $k(x, t) = (1+t/x)^{-m}$, $m > 0$, он установил, что для функций из некоторого класса K из условия $\lim_{t \rightarrow \infty} \kappa(\varphi(t))/\kappa(\psi(t)) = 1$ следует, что $\lim_{t \rightarrow \infty} \varphi(t)/\psi(t) = 1$. Класс K , как это часто бывает у первооткрывателей, был взят уже, чем достаточно для утверждения теоремы. В дальнейшем класс K был расширен, а теорема установлена для более общих ядер (Б. И. Коренблюм, В. И. Мацаев & Ю. А. Палант, А. Ф. Гришин & И. В. Поединцева). Появились двусторонние тауберовы теоремы, приспособленные для исследования не полуограниченных операторов (Т. Selander). Осмысление условий Келдыша стимулировало исследования, посвященные медленно осциллирующим и слабо осциллирующим

на бесконечности функциям, включающим класс K (N. H. Bingham и др.). В дальнейшем были найдены многомерные обобщения теорем типа Келдыша (А. Л. Якимив, В. С. Владимиров, Ю. Н. Дрожжинов, Б. И. Завьялов, А. И. Павлов и др., см. [10]). М. В. Келдыш использовал в доказательстве методы комплексного анализа. У Коренблюма доказательства чисто вещественные, а позднее в них применялись соображения, связанные с компактностью, типа теоремы Хелли. Важное значение имели и оценки остатка в тауберовых теоремах типа Келдыша (G. Freud, T. Ganelius, К. И. Бабенко и др.). К. И. Бабенко обнаружил связь оценок остатка с теорией односторонних приближений и получил в [11] теорему, обобщающую и уточняющую теоремы Келдыша, Ганелиуса и Фройда. С помощью этой теоремы он получил известные результаты о сходимости риссовских средних для спектральных семейств симметричных эллиптических операторов. Работа [2; с. 150–158] стала классической, а о теореме Келдыша зачастую говорят даже без ссылки на эту оригинальную работу. Исследования в этой области продолжаются и в настоящее время.

Вернемся к биографическим фактам. Актуальные проблемы авиации, решенные М. В. Келдышем, не остались незамеченными, и в апреле 1942 г. ему (совместно с Е. П. Гроссманом) была присуждена Сталинская премия II степени за научные работы по предупреждению разрушений самолетов: “Расчет самолета на флаттер” (1940 г.), “Колебания крыла с упруго прикрепленным мотором” и “Изгибно-элеронный флаттер” (1941 г.). В июне 1943 г. за выдающиеся заслуги в области научно-исследовательских работ в авиации М. В. Келдыш награжден орденом Трудового Красного Знамени.

30 сентября 1943 г. его избирают членом-корреспондентом АН СССР по Отделению физико-математических наук.

С 1942 по 1953 г. он профессор МГУ. На физико-техническом факультете МГУ Мстислав Всеволодович заведовал кафедрой термодинамики и вел курс математической физики, а на механико-математическом – читал лекции и руководил научно-исследовательским семинаром по теории функций комплексного переменного. Многие из его учеников стали видными учеными, среди них – академики А. А. Гончар, Д. Е. Охоцимский, Т. М. Энеев, члены-корреспонденты АН К. И. Бабенко и С. Н. Мергелян. Мстислав Всеволодович был замечательным педагогом, общение с которым оставило неизгладимый след в благодарной памяти у всех, кто имел счастье учиться у него. Он закончил читать лекции в вузах из-за большой загруженности.

Мстислав Всеволодович имел прямое отношение к созданию Московского физико-технического института, где почти до конца жизни был заведующим кафедрой. Академик О. М. Белоцерковский вспоминает: “В 1949 г. вышли известные постановления партии и правительства о музыке и генетике как лженауке и готовилось аналогичное постановление по теоретической физике. Мы тогда с трудом закончили физико-технический факультет МГУ, так как факультет был почти упразднен: П. Л. Капица был на 3–4 года отстранен от преподавания, отстранен был и С. Л. Мандельштам, ядерные специальности на этом факультете закрыты – Алихановская и Курчатовская кафедры были ликвидированы. Остались лишь три кафедры, причем это в большой степени зависело от личностей заведующих: кафедра С. А. Христиановича (ЦАГИ), кафедра Н. Н. Семенова (Институт химфизики) и кафедра термодинамики М. В. Келдыша с базой в НИИ-1. Усилиями этих трех кафедр удалось сохранить де-факто этот факультет. Я закончил именно кафедру термодинамики, поэтому в моем дипломе имеется виза Келдыша. В 1950 г. факультет был фактически ликвидирован, и мы даже не знали, где нам защищать дипломные работы”. В значительной степени благодаря М. В. Келдышу и генерал-лейтенанту И. Ф. Петрову (первый ректор МФТИ) почти разогнанный факультет в 1951 г. стал МФТИ с его постепенно сформировавшейся уникальной системой образования.

В апреле 1944 г. в МИАН был создан отдел механики, которым с июня 1944 г. по июнь 1953 г. заведовал М. В. Келдыш. При отделе начал работать научный семи-

нар, объединивший специалистов по аэродинамике. С этого времени он занимается проблемами ракетодинамики и прикладной небесной механики.

В 1946 г. М. В. Келдыш получает Сталинскую премию II степени за научные исследования в области теории и методов расчета автоколебаний самолетных конструкций, результаты которых изложены в монографии “Шимми переднего колеса трехколесного шасси” (1945 г.).

30 ноября 1946 г. М. В. Келдыш избран действительным членом Академии наук по Отделению технических наук. На следующий же день его назначают начальником, а в августе 1950 г. – научным руководителем НИИ-1 (Реактивный научно-исследовательский институт, ныне Исследовательский центр им. М. В. Келдыша), занимающегося проблемами прикладных задач ракетостроения. С этого времени деятельность Мстислава Всеволодовича неразрывно связана с ракетной техникой, атомной энергетикой, освоением космоса.

Лишь в самое последнее время появилась возможность сколько-нибудь связно рассказать о жизни и работе М. В. Келдыша в 1947–1961 гг., в частности, о его деятельности в НИИ-1 (см. [1; с. 289–294]), куда он пришел в очень сложное для института, да и для всей авиации время.

С именем М. В. Келдыша связано становление современной вычислительной математики, а если применить современную терминологию, то и вычислительной механики и вычислительной физики. Физикам, занимавшимся разработкой ядерного оружия, пришлось столкнуться с задачами небывалой сложности. Трудности возникли еще и вследствие крайней ограниченности сведений по физике самих явлений, сопровождающих протекание ядерных процессов, и невозможности воспроизвести их в лабораторных условиях. Разработку ядерных зарядов возглавляли такие крупнейшие физики, как Ю. Б. Харитон, Я. Б. Зельдович, Е. И. Забабахин, А. Д. Сахаров, Д. А. Франк-Каменецкий. И вот в 1946 г., по воспоминаниям академика Ивана Матвеевича Виноградова, “. . . пришли ко мне Юлий Борисович Харитон и другие физики. Просили порекомендовать математика, который мог бы поставить расчеты по атомной тематике. Я им сказал – взять Келдыша. Он в любом приложении математики способен разобраться лучше всякого”. И далее: “Приезжали к нам М. А. Лесечко с Ю. Я. Базилевским, тогда они делали первую советскую электронную машину, Келдыш вошел в курс всего этого дела. Поехали мы с ним раз на совещание. Там главным специалистом по ЭВМ считали Тамма. Его спрашивают, а он все знает только приблизительно. А Келдыш все цифры знал досконально, все мог объяснить. Он был очень добросовестный человек, когда брался за дело, то все делал обстоятельно. И очень быстрый был. Все сделает к сроку, ничего не упустит. Умеет все выразить сжато. На заседании был начальник первого главного управления (Б. Л. Ванников), Первухин, другие товарищи (в их числе куратор первого главного управления Л. П. Берия). И когда совещание кончилось, я понял, что скоро Келдыша у меня отберут на повышение” (см. [1; с. 178–180]). С тех пор и до конца жизни М. В. Келдыша продолжалось его творческое участие в этих работах.

27 апреля 1953 г. он назначается директором Отделения прикладной математики Математического института им. В. А. Стеклова Академии наук.

Организация Отделения прикладной математики, впоследствии переименованного в Институт прикладной математики, была важной вехой в развитии вычислительной математики и механики в нашей стране. М. В. Келдышу позволили сконцентрировать в Институте большое число крупных специалистов в области вычислительной математики и вычислительной техники. Среди них такие известные имена, как И. М. Гельфанд, А. А. Самарский, А. Н. Тихонов, К. И. Бабенко, О. В. Локуцкий, А. А. Ляпунов, А. Н. Мямлин, М. Р. Шура-Бура и др.

Быстро входила в курс дела и начинала самостоятельно работать молодежь: С. К. Годунов, А. В. Забродин, К. В. Брушлинский, В. Ф. Дьяченко, Э. З. Любимский, В. С. Штаркман и др. Исключительные волевые качества Мстислава Всеволодовича,

его ясный ум и огромный авторитет способствовали сплочению сотрудников Института в единый коллектив, достигший за короткий срок выдающихся научных результатов. Будучи директором Института прикладной математики и обремененный другими многочисленными обязанностями, М. В. Келдыш внес и огромный личный вклад в развитие вычислительной математики и механики. К сожалению, по разным причинам его идеи и разработки не всегда материализовывались в виде отчетов и статей.

Отметим, что по одному из вариантов термоядерного заряда в 1954 г. вручную, на настольных электромеханических машинах – “Мерседесах”, “Рейнметаллах” – под руководством М. В. Келдыша был проведен расчет решения двумерной задачи об осесимметричном движении газа с отошедшей ударной волной. В выпущенном отчете впервые была описана матричная прогонка [2; с. 377–420]. Иначе чем научным подвигом эту работу назвать нельзя.

ОПМ (ИПМ) принимал участие в различных этапах совершенствования ядерного оружия. Наконец было найдено решение, в котором энергия атомного взрыва первичного атомного заряда в виде мягкого рентгеновского излучения инициировала основной термоядерный заряд.

22 ноября 1955 г. на Семипалатинском полигоне был произведен первый взрыв основанной на этой идее конструкции. На испытаниях присутствовала и группа ученых из Института прикладной математики во главе с М. В. Келдышем. В отчете об этой работе Андрей Дмитриевич Сахаров писал: “... В разработке столь сложных систем особенно велика роль математических расчетов. В ряде случаев расчеты уравнений в частных производных кардинально исправляли наши представления о работе того или иного узла, или о роли того или иного изменения в системе. Эти расчеты проводились в основном в Отделении прикладной математики МИАНа...” Академик Ю. А. Трутнев указывает: “После 1955 г. этот принцип задействования термоядерного заряда пошел вширь, и в 1958, 1961 и 1962 гг., когда мы развернули очень большую работу по созданию различных типов ядерных и термоядерных зарядов, участие Института прикладной математики (ОПМ) в этих разработках было совершенно обязательно”.

Для решения этих задач исключительно важным было построение адекватных физико-математических моделей и их оперативное исследование, прежде всего численное. Потребовались создание и программная реализация эффективных алгоритмов, ориентированных на конкретные ЭВМ. Их появление коренным образом изменило общенаучное значение вычислительной математики. Упомянутые работы создавали новую методологию научных исследований в естествознании: наряду с теорией и экспериментами появились и заслужили свое право на существование численные исследования, расчеты, а точнее – математическое моделирование исследуемых процессов, в первую очередь физических. Оно требует понимания природы процессов, включает в себя постановку задач и их математическую формулировку, выбор или создание методов их приближенного (численного) решения, многочисленные серии разных вариантов громоздких расчетов – отсюда необходимость в развитии высокопроизводительной вычислительной техники – и, наконец, анализ результатов расчетов и получение выводов из них, относящихся к исходной задаче. Разработка, исследование и оптимизация численных методов вместе с их эффективной программной реализацией составили современный облик вычислительной математики. Важно подчеркнуть неразрывную связь ее проблем и достижений с глубокими вопросами математики в целом. В том, что эта связь была быстро выявлена, несомненная заслуга М. В. Келдыша, оказавшегося у руководства нового вида научных исследований. Отметим, что современная революция в области высокопроизводительных вычислений, связанная с созданием параллельных комплексов и гибридных реконфигурируемых вычислителей (см. <http://www.kiam.ru/>) типа К-100 (здесь К от Келдыш), потребо-

вала ревизии старых и создания новых вычислительных алгоритмов, и эта работа успешно ведется в ИПМ им. М. В. Келдыша.

Вне рамок этой статьи, ориентированной в основном на математиков, остался целый мир ракетной техники и космонавтики, где М. В. Келдыш был признанным лидером – “Главным Теоретиком Космонавтики”. Часть его работ в указанной области собрана в [4]. Описанию этой части его многогранной деятельности посвящены статьи его учеников и последователей Д. Е. Охотимского, Т. М. Эннеева, Э. Л. Акима, В. В. Белецкого, В. А. Егорова, М. Л. Лидова, А. К. Платонова и многих других (см. [1]). Конечно, именно с этой областью науки и техники связаны наиболее торжественные события его жизни – запуск первых спутников, первый человек в космосе, первые межпланетные перелеты и т. д. Но даже здесь его личный вклад, как и вклад многих других научно-технических сотрудников, долго оставался под грифом секретности. Мы также не коснулись деятельности М. В. Келдыша на посту Президента АН СССР, который он занимал с 1961 по 1975 г., – это тема отдельной статьи.

Эпоха М. В. Келдыша оставила выдающиеся достижения во многих областях науки и техники. Его имя и дела будут жить в благодарной памяти потомков.

А. И. Аптекарев, А. Л. Афендилов, Б. Н. Четверушкин

Список литературы

- [1] М. В. Келдыш – *Творческий портрет по воспоминаниям современников*, Наука, М., 2001, ISBN: 5-02-022758-7, 400 с.
- [2] М. В. Келдыш, *Избранные труды. Математика*, Наука, М., 1985, 448 с.
- [3] М. В. Келдыш, *Избранные труды. Механика*, Наука, М., 1985, 568 с.
- [4] М. В. Келдыш, *Избранные труды. Ракетная техника и космонавтика*, Наука, М., 1988.
- [5] М. В. Келдыш, *Избранные труды. Общие вопросы развития науки*, Наука, М., 1985, 704 с.
- [6] “Мстислав Всеволодович Келдыш (к шестидесятилетию со дня рождения)”, *УМН*, **26**:4 (1971), 3–14; англ. пер.: “Mstislav Vsevolodovich Keldysh (on his sixtieth birthday)”, *Russian Math. Surveys*, **26**:1 (1971), 1–14.
- [7] “Обзор научной деятельности М. В. Келдыша”, *М. В. Келдыш. Избранные труды. Математика*, ред. К. И. Бабенко, Н. Н. Боголюбова, Н. Н. Ченцова, М., 1985, 11–28.
- [8] С. Н. Мергелян, “Равномерные приближения функций комплексного переменного”, *УМН*, **7**:2 (1952), 31–122.
- [9] А. Г. Витушкин, “Аналитическая емкость множеств в задачах теории приближений”, *УМН*, **22**:6 (1967), 141–199; англ. пер.: A. G. Vitushkin, “The analytic capacity of sets in problems of approximation theory”, *Russian Math. Surveys*, **22**:6 (1967), 139–200.
- [10] В. С. Владимиров, Ю. Н. Дрождинов, Б. И. Завьялов, *Многомерные тауберовы теоремы для обобщенных функций*, Наука, М., 1986, 304 с.
- [11] К. И. Бабенко, “О суммируемости и сходимости разложений по собственным функциям дифференциального оператора”, *Матем. сб.*, **91**:2 (1973), 147–201; англ. пер.: K. I. Babenko, “On summability and convergence of eigenfunction expansions of a differential operator”, *Math. USSR-Sb.*, **20**:2 (1973), 157–211.