

Биографический очерк

Жизнь и творчество

Константина Ивановича Бабенко



Константин Иванович Бабенко родился 21 мая 1919 г. на Брянском руднике Луганской области в семье статистика местной больницы Ивана Павловича Бабенко. Мать, Мария Васильевна Хамицкая, умерла от тифа, когда сыну не было и года. Воспитанием мальчика занималась его приемная мать Бабенко Анна Федоровна, она умерла в 1951 году. В 1927 году семья переехала в Луганск (Ворошиловград), там Константин Иванович в 1936 году окончил среднюю школу. В том же году он поступил на физико–математический факультет Харьковского университета.

В 1941г. по окончании Харьковского университета К. И. Бабенко был призван в армию и направлен учиться на инженерный факультет ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского. С февраля по июль 1944 г. был на войсковой стажировке в 175 ШАП (штурмовой авиаполк) на 3-м Украинском фронте в качестве ст. техника эскадрильи. Константин Иванович служил в армии 10 лет: с 3 сентября 1941 г. по 11 сентября 1951г. В личном листке 1951 года (архив ИПМ) он написал, что «участвовал в боях».

По окончании в феврале 1945 года инженерного факультета ВВИА К. И. Бабенко был оставлен в адъюнктуре при кафедре «Проектирование самолетов».

Во время службы Константин Иванович был награжден двумя медалями: «За победу над Германией» и «XXX лет Красной армии».

В тяжелые послевоенные годы К. И. Бабенко продолжал заниматься математическими задачами, вынесенными им с кафедры теории функций, на которой он специализировался в Харьковском университете. Несомненно, что он мог заниматься тем, что его интересовало – математикой, только благодаря поддержке научного руководителя его адъюнктуры, авиаконструктора Александра Ивановича Путилова. На оттиске одной из первых своих печатных работ Константин Иванович написал посвящение А. И. Путилову.

Две его первые работы по теории функций и теории приближений, опубликованные в 1947-1948 гг., были представлены в журнал «Доклады АН СССР» академиком С. Н. Берштейном. Первая статья «О взвешенном приближении многочленами непрерывных на всей числовой оси функций» была написана в соавторстве с Н. И. Ахиезером, профессором Харьковского университета. В ней был сделан существенный сдвиг к разрешению давней проблемы, поставленной С. Н. Берштейном, касающейся плотности полиномов в весовых пространствах на вещественной оси. В работах «О базисах в гильбертовом пространстве» и «О сопряженных функциях» обсуждались проблемы базисов и сопряженных функций в весовых пространствах. Константин Иванович установил ограниченность преобразования Гильберта в пространствах L_p с весом x^α , $-1 < \alpha < p - 1$ и с помощью этого результата построил пример базиса, не являющегося базисом Рисса, решив тем самым проблему Н. К. Бари. В этих его работах уже тогда проявилась характерная особенность Константина Ивановича – потребность решать красивые и фундаментальные аналитические задачи.

Ко времени работы К. И. Бабенко над кандидатской диссертацией относятся его первые научные контакты с академиком М. В. Келдышем, который представил работу «О сопряженных функциях» в «Доклады АН СССР», опубликованную в 1948 году. В 1986 году на вечере, посвященном памяти М. В. Келдыша, Константин Иванович вспоминал, что в числе важнейших и интереснейших проблем Мстислав Всеволодович указал ему тогда на задачи бифуркации решений нелинейных уравнений и на краевые задачи для уравнений смешанного типа.

Название кандидатской диссертации, защищенной К. И. Бабенко в 1948 году, – «Определение сил и моментов, действующих на колеблющееся стреловидное в плане крыло в сверхзвуковом потоке газа» только на первый взгляд говорит о том, что эта работа далека от его математических интересов. В ней уже определившийся талант аналитика применен к решению дифференциального уравнения, которое описывает движение крыла. В автобиографии, написанной им в 1972 году, написано: «...в линеаризованной постановке я решил задачу об определении сил и моментов и дал для их нахождения явные формулы. Для этого мне нужно было эффективно учесть влияние

боковых кромок крыла, что мне и удалось. После защиты моя работа была засекречена и поэтому не была своевременно опубликована. Позже частично мои результаты были получены за рубежом». Трудно представить, что на кафедре «Проектирование самолетов» были специалисты, способные понять эту математическую диссертацию и остается предположить, что без поддержки М. В. Келдыша не могла состояться ее защита. Действительно, по устным воспоминаниям сотрудников отдела К. И. Бабенко в ИПМ, диссертация не удовлетворяла требованиям той специальности (технической), по которой должна была защищаться. Не исключено, что именно А. И. Путилов мог познакомить молодого ученого с академиком М. К. Келдышем, который должен быть ему известен по ЦАГИ. Последняя фраза из диссертации: «Полученные формулы дают возможность произвести расчет критической скорости флаттера крыла и оперения» говорит о том, что К. И. Бабенко были известны работы Мстислава Всеволодовича.

Кандидатская диссертация Бабенко была удостоена в 1949 г. премии и медали имени Н. Е. Жуковского.

К. И. Бабенко после окончания адъюнктуры и защиты кандидатской диссертации был оставлен в качестве преподавателя в ВВИА. Преподавал сначала курс «Детали машин», а потом перешел на кафедру высшей математики. Кроме выполнения непосредственных обязанностей и военной службы, он работал над докторской диссертацией. Это был трудный период в жизни Константина Ивановича. Ежедневно (включая субботу), он был занят на занятиях с 9 утра до 3 часов дня (т. е. имел ежедневно три пары). После этого он обедал, спал один час, а с 4-х часов дня и до 12 ночи (а иногда и до 2 часов ночи) он работал. И так он работал ежедневно, без выходных и праздников не месяц или два, а три года до демобилизации и перехода в МИАН. Тогда К. И. Бабенко он жил вплотную к академии – в корпусе общежития на улице Красноармейской, 12, кор.2, левое крыло, к.52.

Научные контакты К. И. Бабенко с М. В. Келдышем несомненно имели место и во время работы над докторской диссертацией – во введении к ней Константин Иванович «приносит глубокую благодарность своему руководителю М. В. Келдышу за целый ряд бесед и советов». Можно сказать, что тогда Мстислав Всеволодович оценил математическую одаренность Бабенко и организовал в 1951 году его перевод на работу в МИАН.

Известно, что с 1946 года в Математическом институте проводились расчеты, сопровождавшие создание атомного оружия. Указанное в приказе о переводе постановление Совета министров от 9 мая 1951 года (на основании которого и был осуществлен перевод), относится к периоду работы над созданием термоядерного оружия

и касается формирования соответствующих структур, которые в Советском атомном проекте должны были отвечать за организацию вычислений. В частности, было решено организовать еще одну расчетно-теоретическую группу в МИАН под руководством академика М. В. Келдыша, назначив его заведующим Отделом прикладной математики МИАН.

С приходом в Математический институт К. И. Бабенко активно включился в работу коллектива, возглавляемого М. В. Келдышем. Но прежде чем рассказывать об участии Константина Ивановича в решении поставленных перед МИАН, а далее и ОПМ МИАН, задач, уделим внимание его докторской диссертации, которая была представлена в совет Математического института им. В. А. Стеклова в 1951 году.

Диссертация «К теории уравнений смешанного типа» была защищена 12 июля 1952г. В отзыве о научных работах К. И. Бабенко, датированным 1974 годом, М. В. Келдыш дает высокую оценку его диссертации. Сам Константин Иванович написал в автобиографии 1972 года: «В этой работе я впервые ввел классы обобщенных решений и показал, что в теории уравнений смешанного типа появление обобщенных решений неизбежно. Я установил принципы максимума для общих уравнений смешанного типа, доказал единственность и существование решения задачи Трикоми для уравнения Чаплыгина.... Диссертацию я не опубликовал, так как условия на часть контура в эллиптической полуплоскости, при которых доказано существование решения, не вызваны существом дела. Я их долго пытался ослабить, но вопрос так и не решил».

Леонид Романович Волевич высказал свое мнение о диссертации в статье о работах К.И.Бабенко по теории уравнений в частных производных: «По-видимому, в период работы над диссертацией Константин Иванович имел минимальные контакты с "внешним математическим миром", он не писал серии заметок с предварительным анонсом отдельных результатов, не делал доклады на различных семинарах. Только в 1951 году, уже закончив диссертацию, Константин Иванович сделал доклад на ММО. Краткое резюме этого доклада было опубликовано в УМН. Характер работы над диссертацией ярко отражается в той манере, в которой она написана. О диссертации Бабенко можно говорить как о потоке трудных вычислений, где автор непрерывно опускает детали, очевидные ему и далеко не очевидные читателю. ... В общем, чтение диссертации – задача нелегкая даже теперь».

Далее Л. Р. Волевич высказал свое мнение, почему диссертация не была опубликована: «После защиты диссертации возникла проблема ее публикации. Очевидно, что подготовка к печати такого большого и трудного текста требовали от автора ... огромной работы. ...Бабенко стал работать в МИАН. Он в расцвете молодости и

творческих возможностей, перед ним стоит множество чисто математических и прикладных задач, в которых он хочет, а главное может, сказать свое слово. Эти задачи уже захватили его. Эти объективные трудности ложились на трудность субъективную – творческий максимализм Константина Ивановича, который не признавал ограничений, не вытекающих, по его мнению, из существа дела». В 1970 году вышла книга М. М. Смирнова «Уравнения смешанного типа», в которой из 295 страниц 150 были посвящены изложению диссертации К. И. Бабенко.

За три года до смерти Константин Иванович вновь вернулся к диссертации (толчком послужило предложение написать статью в сборник памяти Трикоми). Он еще раз переосмыслил свои результаты и убедился, что они до сих пор остаются новыми, и опубликовал их в серии заметок в Докладах АН СССР.

Как известно, основной стратегической целью образования ОПМ (ИПМ) было решение математических задач, сопровождавших срочное создание атомного и термоядерного оружия и ракетно-космической техники, необходимых с точки зрения обороны и государственной независимости. Эти прикладные задачи, традиционно назывались производственными и были секретными. Работы вне заказных тем не возбранялись, но особо и не поощрялись. Константин Иванович «не отказывал» себе в решении задач, не связанных с производственными. Его глубоко интересовал абстрактный математический мир. С другой стороны, он написал в предисловии к книге «Основы численного анализа», вышедшей в 1979 году: «Опыт решения широкого класса задач убедительно показывает, что применительно к ним конструирование эффективных вычислительных алгоритмов становится возможным лишь при использовании достижений современной теоретической математики».

Результатом первых лет работы К. И. Бабенко в отделе прикладной математики МИАН, а потом в созданном в 1953 году Отделении прикладной математики является известный отчет 1954 года «Решение задачи об осесимметричном движении газа с ударной волной», посвященный решению двумерной газодинамической задачи о сильном взрыве в неоднородной атмосфере. (В настоящее время этот отчет хранится в Кабинете-музее академика М. В. Келдыша и опубликован в томе «Математика» собрания сочинений М. В. Келдыша). В этой работе была предложена первая методика для расчета двумерных задач. Кроме К. И. Бабенко, его авторами являются И. М. Гельфанд, Н. А. Дмитриев, М. В. Келдыш, О. М. Локуциевский, Н. Н. Ченцов.

Из отзыва М. В. Келдыш о научных работах К. И. Бабенко, написанного в 1974 году: «Слабость имевшейся в это время вычислительной техники заставила преодолевать серьезные трудности. Это потребовало привлечения многих средств математического

анализа, включая разнообразные асимптотические методы. К. И. Бабенко вложил в эту работу присущее ему аналитическое мастерство». В этом отчете Константину Ивановичу принадлежит ряд важных теоретических результатов. В частности, им (совместно с Н. Н. Ченцовым) был исследован предложенный Келдышем метод решения «двумерных» разностных уравнений. В это же время К. И. Бабенко и И. М. Гельфанд предложили способ исследования устойчивости разностных уравнений относительно вариации граничных условий применение которого помогло справиться с возникающей неустойчивости схемы. Этот факт отмечен в отчете ОПМ МИАН 1955 года «Точечный взрыв в атмосфере», опубликованном в трудах М.В. Келдыша в томе «Механика». Появлялась новая наука – вычислительная математика, и Константин Иванович принял непосредственное участие в создании ее методов. Позже, в 1972 году, он написал в автобиографии: «Сначала в МИАН, а потом в ИПМ я включился в работу по вычислительной математике. Я смею надеяться, что есть и моя заслуга в том, что в ИПМ вычислительная математика находится на высоком научном уровне и имеет ряд выдающихся достижений».

Следующей важной вехой в развитии работ был 1956 год, когда возникла необходимость более детального геометрического описания процессов, происходящих при работе зарядов. Коллективом в составе К. И. Бабенко, В. В. Русанова и др. были разработаны методы и алгоритмы расчета сверхзвуковых обтеканий затупленных тел.

В личном деле К. И. Бабенко в списке его трудов, датированным 1974 годом приведены пять отчетов по производственной тематике, выполненных с соавторами с 1954 по 1965 годы, но не входящих в известный список его трудов. О существенном вкладе Константина Ивановича в выполненные работы говорит его награждение двумя орденами Трудового Красного Знамени (в 1955 и 1956 гг.), назначение начальником отдела (№4 в ИПМ) и присвоение звания профессора в 1959 году. Несекретные работы Константина Ивановича по численным методам газовой динамики появились только в 60-тых годах.

К. И. Бабенко с коллективом сотрудников был выполнен большой цикл работ по численным методам решения задач пространственного обтекания тел совершенным газом. Эти работы оказали большое влияние на численные методы газовой динамики и получили дальнейшее развитие в многочисленных отечественных и зарубежных работах. Широкую известность приобрела монография «Пространственное обтекание гладких тел идеальным газом», выпущенная в 1967 году и удостоенная Государственной премии. В монографии подробно изложен метод пространственного обтекания заостренных тел сверхзвуковым потоком газа, проведено теоретическое исследование систем конечно-разностных

уравнений. Именно там был представлен разработанный К. И. Бабенко и Г. П. Воскресенским первый конечно-разностный метод решения задач сверхзвукового пространственного обтекания тел со вторым порядком точности. Приведенные в книге таблицы неосесимметричного обтекания тел в широком диапазоне чисел Маха дают исчерпывающую информацию о потоке газа.

«Особенно характерной для стиля Константина Ивановича является первая, теоретическая часть книги. Там наряду с ясным и подробным изложением использованного метода разбирается ряд вопросов общего значения, относящимся к разностным краевым задачам и методам их решения» (Отзыв М. В. Келдыша о работах Бабенко).

В последующие годы в работах, посвященных исследованию пространственных течений жидкостей и газов и сверхзвуковому обтеканию, разработанные алгоритмы модернизировались и обобщались в соответствии с нуждами практики. Надо сказать, что «производственные задачи», т.е. численные методы решения прикладных задач механики, всегда занимали в тематике отдела, возглавляемого К. И. Бабенко свое место. Многие годы отдел работал с ОКБ Сухого, сотрудничество продолжалось и после смерти Константина Ивановича.

Прежде чем перейти к обзору «непроизводственных» работ, выполняемых К. И. Бабенко практически одновременно с представленными выше «производственными», постараемся представить его личность по отношению к математике. Обратим внимание, что диапазон математических интересов Константина Ивановича удивительно широк: в обзорах его работ, в воспоминаниях о нем никто не может не обратить на это внимание. Нередко случалось так, что он мог взяться за задачу с нуля, только потому, что она показалась ему интересной и трудной. Некоторые работы К. И. Бабенко по чистой математике были вызваны к жизни реальными прикладными задачами и, наоборот, решение ряда прикладных задач оказалось возможным благодаря глубокому проникновению Константина Ивановича в математическую сущность проблемы и его исключительному аналитическому мастерству. Из воспоминаний ученых, знавших К. И. Бабенко, можно сделать вывод, что в характере Константина Ивановича было стремление самому решить задачи, открывающиеся перед ним и достигнуть мировых высот в своем творчестве.

После защиты докторской диссертации первой опубликованной работой Константина Ивановича была большая по объему работа 1956 года «Об одной новой проблеме квазианалитичности и о преобразовании Фурье целых функций». Эта, и примыкающая к ней работа «О некоторых классах пространств бесконечно

дифференцируемых функций», посвящены теоремам, обобщающим результаты Карлемана и Островского по проблеме квазианалитичности: К. И. Бабенко доказал фундаментальные теоремы о нетривиальности классов бесконечно-дифференцируемых функций. Поводом к этим работам послужила задача, поставленная И. М. Гельфандом и Г. Е. Шиловым.

В 1958 году К. И. Бабенко (в соавторстве с И. М. Гельфандом) была опубликована статья «Несколько замечаний о гиперболических системах», посвященная некоторым понятиям теории квазилинейных уравнений гиперболического типа, «основанных на гидродинамическом опыте», т.е. можно сказать, что на опыте решения реальных прикладных задач.

В 1958 году Константин Иванович был оппонентом докторской диссертации С. Б. Стечкина. В процессе оппонирования ему удалось упростить доказательство одного из основных результатов диссертации, используя метод А. Н. Колмогорова. В работе «О наилучших приближениях одного класса аналитических функций» он опубликовал свое доказательство и далее получил аналог известной теоремы Фавара и Ахиезера – Крейна о наилучшем приближении полиномами класса аналитических функций в круге, у которых r -я производная ограничена некоторой константой. Этот результат стал классическим в теории приближений.

К. И. Бабенко хорошо знал творчество А. Н. Колмогорова, ценил его научные постановки и неоднократно обращался к задачам, шедшим от Андрея Николаевича. В 1956 году А. Н. Колмогоров ввел понятие ε -энтропии множества S , расположенного в метрическом пространстве X и указал на важность изучения аппроксимативных возможностей приближения функциональных компактов с помощью конечных множеств. Им была поставлена задача о вычислении ε -энтропии класса аналитических функций, заданных на континууме K и допускающих аналитическое продолжение в область $G \supset K$. В работе «Об энтропии одного класса аналитических функций» Константин Иванович решил эту задачу. Он одним из первых понял важность понятия ε -энтропии в вычислительной математике. В монографии К. И. Бабенко «Основы численного анализа» целая глава посвящена теории табулирования и ε -энтропии. Многие его дальнейшие работы по теоретическим основам вычислительной математики неотделимы от его работ по теории приближений.

К. И. Бабенко сделал основополагающий вклад в теорию приближения в работах 1960-го и 1971-го годов о приближении периодических функций многих переменных тригонометрическими многочленами. Он сформулировал концепцию их гладкости и указал, что правильная постановка задачи приближения должна опираться на идеологию

поперечников. Константин Иванович показал, что для функций многих переменных, где в системе приближающих функций нет естественного порядка, задача приближения сразу приводит к необходимости вычисления поперечника Колмогорова. К. И. Бабенко были описаны подпространства тригонометрических полиномов, играющие в вопросах приближения классов $W_{\infty}^r(T^n)$, где r – дифференциальный оператор с характеристическими многообразиями в координатных плоскостях, а T^n – n -мерный тор, такую же роль, как подпространства тригонометрических полиномов фиксированной степени в классической теории приближений классов $W_{\infty}^r(T^1)$.

К теории приближений относится и решенная в 1961 году Константином Ивановичем экстремальная задача, связанная с вычислением нормы оператора преобразования Фурье из L_p в L_q , $p^{-1} + q^{-1} = 1$. В работе «Об одном неравенстве в теории интегралов Фурье» при $q = 2l$ ($l \geq 1$ и целое) он установил, что эта норма достигается (как и в случае L_2) на гауссовском распределении».

Кроме выполненных работ по теории функций, теории приближений, прикладных задач газодинамики в 50-х годах К. И. Бабенко занимался и спектральной теорией. Тогда он оценил остаточный член в тауберовой теореме Харди – Литвуда – Карамата и применил этот к исследованию асимптотики спектра эллиптических дифференциальных операторов. К сожалению, эти исследования не были опубликованы. Позже, в 70-х годах в работах «О сходимости в среднем кратных рядов Фурье и асимптотике ядра Дирихле сферических средних», «О суммируемости и сходимости разложений по собственным функциям дифференциальных операторов» Константин Иванович получил фундаментальные результаты о сходимости в L_p и почти всюду разложений по собственным функциям положительного эллиптического оператора с постоянными коэффициентами. А в работе 1978 года «Об асимптотике спектральной функции оператора Лапласа плоского тора» для спектральной функции К. И. Бабенко получил асимптотические формулы, характеризующие ее рост вне диагонали, и доказал неулучшаемость полученной асимптотики.

Непростая страница научной биографии Константина Ивановича связана с его усилиями доказать знаменитую гипотезу Бибербаха об оценке коэффициентов степенного разложения однолистных функций класса S . Класс S состоит из голоморфных, однолистных в единичном круге функций $f(z) = \sum_0^{\infty} c_n z^n$ таких, что $f(0) = 0$ и $f'(0) = 1$. Гипотеза Бибербаха утверждает, что модуль коэффициента ограничен его

номером, т.е. $|c_n| \leq n$. К. И. Бабенко построил глубокую теорию второй вариации функционалов от коэффициентов однолистных функций, которая как он считал, должна доказать гипотезу Бибербаха. К сожалению, надежда не оправдалась. Разработанная теория была опубликована в 1972 году в 320-ти страничной монографии «К теории экстремальных задач для однолистных функций класса S ». Следует добавить, что М. В. Келдыш в 1939 году опубликовал работу, посвященную полиномам Бибербаха. Не исключено, что на решение Константина Ивановича заниматься гипотезой Бибербаха повлиял М. В. Келдыш, специалист по комплексному анализу.

Существенные результаты были получены К. И. Бабенко в 70-х годах при решении задач обтекания тел вязкой жидкостью, которые описывается системой уравнений Навье-Стокса. Численное решение этих задач побудило Константина Ивановича к теоретическому рассмотрению задач обтекания. Выяснению структуры решений задачи обтекания тела вязкой несжимаемой жидкостью посвятили свои работы многие математики. Р. Финном было постулировано условие для «физически приемлемых решений задачи обтекания», которые на бесконечности удовлетворяют условию $u(x) - u_\infty = O(|x|^{-\alpha})$, $|x| \rightarrow \infty$ для некоторого $\alpha > 1/2$, и доказано существование таких решений при малых числах Рейнольдса. При условии выполнения этого условия К. И. Бабенко в работе «Об асимптотическом поведении вихря вдали от тела при обтекании его плоским потоком вязкой жидкости» были получены несколько первых членов асимптотических разложений решения стационарной задачи обтекания в плоском случае, а в следующих работах – в пространственном. Существенным следствием этих разложений является доказательство экспоненциального убывания вихря вне следа, простирающегося за телом. Полученные разложения важны для постановки граничных условий вдали от обтекаемого тела и расчете течения в следе при создании численных алгоритмов задачи обтекания, а также для обоснования концепции пограничного слоя.

К. И. Бабенко принадлежит теорема о том, что всякое решение трехмерной задачи обтекания с конечным интегралом Дирихле удовлетворяет условию Финна с $\alpha = 1$. Этот глубокий факт соединил исследования Р. Финна, Ж. Лере, О. А. Ладыженской и других математиков и полностью охарактеризовал структуру стационарного решения задачи обтекания при любом числе Рейнольдса.

Следующим результатом, полученным К. И. Бабенко в качественной теории уравнений Навье-Стокса, явилась математически строгая теория возмущений для стационарных решений задачи обтекания. В 1976 году был опубликован препринт ИПМ «Теория возмущений стационарных течений вязкой несжимаемой жидкости при малых

числах Рейнольдса». Препринт, ранее практически недоступный, сейчас выложен по адресу https://keldysh.ru/papers/1975/rep1975_79.pdf. Эта большая работа начинается с видоизменения классической теории потенциалов, чтобы избежать вырождения при нулевом числе Рейнольдса. Вследствие этой теории он получил теорему единственности стационарного решения при малых числах Рейнольдса. Приложением построенной теории явилась асимптотическая формула для сил, действующих на тело, движущееся в жидкости. В частности, были строго обоснованы знаменитая формула Стокса для сопротивления шара и ее дальнейшие уточнения и обобщения на тела произвольной формы.

В дальнейшем, уже в 80-е годы, Константин Иванович в работе «О спектре линеаризованной задачи обтекания тела вязкой жидкостью» были исследованы свойства непрерывного и точечного спектров линеаризованной задачи обтекания и, в частности, показано, что собственное значение $\lambda = 0$ принадлежит спектру при всех числах Рейнольдса. В работе «О периодических решениях задачи обтекания тела вязкой жидкостью» показано, что если пара комплексно-сопряженных собственных значений пересекает мнимую ось, то при выполнении некоторых условий невырожденности от стационарного решения ответвляется семейство периодических по времени решений, причем при каждом фиксированном $t = t_0$ это решение имеет конечный интеграл Дирихле, но не принадлежит L_2 . Этот результат особенно интересен тем, что к этой задаче неприменимы ни классическая редукция Ляпунова–Шмидта, ни метод сведения бифуркационной задачи на центральное многообразие. В первом номере журнала «Прикладная математика и механика» за 2020 год опубликована статья «О работах К.И. Бабенко в области механики и прикладной математики», более подробно освещающая его результаты в области газодинамики. (// ПММ. 2020. Т. 84. Вып. 1. С. 3-12).

В 1970 году К. И. Бабенко начал работу по совместительству на механико-математическом факультете МГУ. К этому времени Константин Иванович имел большой опыт численного решения прикладных задач. Продумывание и разработка им обязательного курса «Методы вычислений» привели его к исследованиям теоретических основ вычислительной математики. Препринт ИПМ «О подходе к оценке качества вычислительных алгоритмов», вышедший в 1974 году, открывает целый ряд работ, посвященных вопросам дискретизации функциональных компактов и конструирования вычислительных алгоритмов, исследованию их качества и оптимальности. В этих исследованиях большое значение имеют т.н. называемые поперечники – метрические

инварианты компактов. Поперечник размерности n характеризует ту точность, с которой этот компакт может быть приближенно представлен пространством размерности n . В зависимости от класса представляющих пространств и способа представлений возникает тот или иной тип поперечника. В этих работах даны слабые асимптотики поперечников Александрова, Колмогорова, сеточного и предтабличного для различных функциональных классов. Величиной соответствующего поперечника характеризуется эффективность способа дискретизации. Поэтому так важно рассматривать поперечники различного типа, выделять один из них, определяющий наиболее оптимальный способ дискретизации. Константин Иванович указал на важную роль поперечников при оценке сложности вычислительных алгоритмов и тем самым пропагандировал идею о том, что классическая теория приближений призвана стать теоретической базой для развития вычислительной математики.

Большинство вычислительных задач математической физики может быть схематизировано следующим образом. Требуется вычислить $g = Af$, где f и g – элементы функциональных компактов X и Y соответственно, а A – отображение, $A: X \rightarrow Y$. Дискретизация компактов X и Y приводит к дискретизации оператора A . Если Ψ – алгоритм приближенного вычисления Af , то его основными характеристиками являются: N – объем входной информации в битах и ε – точность, с которой получается элемент $g = Af$. В работе «Estimating the quality of computational algorithms» К. И. Бабенко установил, что при заданном N существует нижняя грань значений точности

$$\inf \varepsilon = \varepsilon_0(N).$$

Алгоритмы, для которых $\varepsilon(N)/\varepsilon_0(N) \leq c$ при $N > N_0$, где константа c не зависит от N и называются оптимальными по Бабенко. В нескольких работах Константин Иванович построил примеры оптимальных алгоритмов. В этих же работах содержится новый подход к анализу алгоритмов решения так называемых «некорректных задач», основанный на анализе ε -энтропии соответствующих функциональных компактов. Этот анализ показал, что для таких задач обязательно использование таблиц специального вида, имеющих жесткую связь между объемом таблицы и длиной частичного слова. Эти идеи были использованы при решении задачи о неустойчивости Релея-Тейлора и численном решении задачи об изгибе и свободных колебаниях пластинки.

С другой стороны, оптимальные алгоритмы, как правило, очень жестко привязаны к заданным функциональным классам. Поэтому чрезвычайно важным является то, что К. И. Бабенко предложил алгоритмы решения ряда конкретных задач, которые, с одной стороны, близки к оптимальным, а с другой стороны сами подстраиваются под

естественный для задачи класс гладкости. Такие алгоритмы Константин Иванович назвал «алгоритмами без насыщения». В статье 1978 года «О явлении насыщения в численном анализе» дано общее определение насыщения вычислительного алгоритма и указаны причины, которые к нему приводят. Алгоритмы без насыщения были сконструированы и использованы, например, в решении задач на собственные значения и при численном исследовании задач гидродинамической неустойчивости. В статье, открывающей сборник «Исследование гидродинамической устойчивости с помощью ЭВМ», К.И. подчеркнул, что «... вычисления на ЭВМ носят не вспомогательный характер, не служат для иллюстративных целей, а в комплексе с аналитическими методами позволяют получить результаты принципиального характера».

В 80-тые годы под руководством К. И. Бабенко был выполнен цикл работ по исследованию перехода в течениях вязкой несжимаемой жидкости от ламинарных режимов к турбулентным, где наряду с общими утверждениями даны и решения задач о потере устойчивости конкретных течений вязкой жидкости: течений Пуазейля и Куэтта, вихрях Тейлора; обсуждается переход к турбулентности, исследуются сложные аттракторы системы Навье-Стокса.

Константин Иванович неоднократно проводил анализ известных алгоритмов решения задач математической физики и показал, что «для многих из них, в том числе для разностных методов, характерно вопиющее противоречие между объемом информации, которую они требуют, и точностью, которую дают». Он настаивал, что в вопросах, связанных с понятием оптимальности алгоритмов, необходим переход к финитной информации. В большой статье «О некоторых задачах теории приближений и численного анализа», опубликованной в 1985 году, был проведен анализ квадратурных формул Грегори и Гаусса, показывающий, как переход на точку зрения финитности влияет на представление об оптимальности алгоритмов. Там же он написал, что алгоритмы без насыщения не являются оптимальными, и что в практической деятельности, как правило, используют простые и неприхотливые алгоритмы, но имеются классы задач, в которых алгоритмы без насыщения незаменимы. Это не только задачи гидродинамической устойчивости, как было указано выше, но и задачи с доказательными вычислениями в анализе: вычисление нормы оператора, доказательство существования обратного оператора, локализация собственных значений операторов, существование решений нелинейных операторных уравнений. К. И. Бабенко по сути разработал метод доказательных вычислений в процессе решения таких задач. «Доказательные вычисления – целенаправленные вычисления на ЭВМ, комбинируемые с аналитическими исследованиями, которые приводят к строгому установлению новых фактов и

доказательству теорем». Такой стиль работы был ярко показан им при решении одной известной проблемы из теории цепных дробей, поставленной Гауссом. Эта проблема привлекла внимание К. И. Бабенко при редактировании перевода известной книги Кнута «Искусство программирования», в которой обсуждалась эта задача. Константин Иванович «не упустил» случая применить к ее решению свои аналитические возможности и методы без насыщения.

Доказательные вычисления были также применены при исследовании уравнения, описывающего поверхностные волны малой амплитуды. Константин Иванович предложил новое уравнение, описывающее волны на поверхности идеальной жидкости и эквивалентное известным уравнениям Стокса и Некрасова. Методом доказательных вычислений были получены фундаментальные результаты о структуре множества решений этого уравнения, т.е. об области существования поверхностных волн конечной амплитуды.

В работе «Доказательные вычисления в задаче о существовании решения уравнения удвоения» К. И. Бабенко сформулировал в чем состоит метод доказательных вычислений и продемонстрировал его. «Первая, неформализуемая часть, сводится к численному построению того объекта, доказательство существования которого мы должны получить. В вторая часть исследования содержит необходимые аналитические построения и дополнительные вычисления, помогающие извлечь строгий факт существования решения данной задачи из факта существования приближенного решения. На этой стадии надо исследовать влияние ошибок округления и разного рода иных погрешностей».

Широту и значимость представленного выше диапазона научной деятельности К. И. Бабенко можно оценить, разделив на условные части, соответствующие по объему докторским диссертациям: по уравнениям в частных производных, по теории аналитических функций, по приближениям функций многих переменных, по уравнениям Навье-Стокса и теории бифуркаций, по вычислительной аэродинамике, по вычислительной математике – и это далеко не полный перечень областей, в которых его работы заняли достойное место.

Константин Иванович неоднократно писал, что математический эксперимент необходим для развития многих областей техники, например при проектировании летательных аппаратов, и он возможен при наличии достаточно мощных ЭВМ. К. И. Бабенко принадлежит существенный вклад в разработку концепции многопроцессорной суперЭВМ, проблемно ориентированной на решение задач механики сплошной среды.

Преподавательскую деятельность Константин Иванович вел на протяжении всей своей жизни. В ВВИА им Н.Е.Жуковского он преподавал до июля 1957 года. Тогда под его руководством были написаны и успешно защищены четыре кандидатских диссертации. В 1970 году К. И. Бабенко в ИПМ прочел цикл лекций «Некоторые вопросы приближенного задания и вычисления функций». На мехмате МГУ, кроме уже упомянутого курса «Методы вычислений», он читал оригинальные спецкурсы по асимптотическим методам и теории уравнений Навье-Стокса. Среди его учеников 8 докторов наук.

По инициативе К. И. Бабенко и под его руководством с 1976 года стали проводиться Всесоюзные школы по теоретическим основам и конструированию алгоритмов решения задач математической физики. Эти Школы-конференции, посвященные памяти К. И. Бабенко, проводятся и в настоящее время. В 1986 году с большим успехом прошла школа «Теория приближений и вычислительная математика», инициатором и одним из руководителей также был Константин Иванович. Всю свою жизнь К. И. Бабенко неустанно пропагандировал единство теоретических исследований по численному анализу и решения конкретных задач математической физики и механики.

Фундаментальная монография-учебник «Основы численного анализа» (57 печатных листов!), вышедшая в 1986 году, явилась итогом многолетнего опыта преподавания, научной и практической деятельности в области численного анализа.

За выдающиеся заслуги в развитии отечественной науки К. И. Бабенко был удостоен государственных наград: Ордена Октябрьской революции в 1971г., Ордена Ленина в 1979г., Ордена Отечественной войны II степени в 1985г., а также награжден медалями.

К. И. Бабенко всегда был в гуще общественной жизни. В 1955 году он подписал известное «Письмо трехсот». Он был членом редколлегий ряда ведущих российских и иностранных журналов. Особенно следует отметить журнал «Comp. meth. in Appl. Mech. and Engin.».

Широта научных взглядов и глубокая эрудиция, беззаветная преданность науке и необыкновенная трудоспособность, принципиальность и глубокая порядочность – эти черты Константина Ивановича Бабенко навсегда останутся в памяти тех, кому довелось его знать

10 июня 1987 года после тяжелой болезни Константин Иванович скончался. Похоронен в Москве на Кунцевском кладбище.

Литература и источники.

- Личное дело К.И.Бабенко. Архив ИПМ им. М.В.Келдыша. Фонд №1939. Опись №4. Дело №1394.
- Константин Иванович Бабенко. (К шестидесятилетию со дня рождения). УМН. 1980. Т. 35. Вып. 2.
- Некролог. Прикладная математика и механика. 1987. Том 51. №5.
- Некролог. УМН. 1988. Том 43. Вып. 2.
- Выдающийся математик нашего времени. К 80-летию со дня рождения К.И.Бабенко. Вестник Российской академии наук. 1999. Том 69. № 12.
- Волевич Л.Р. О работах К.И.Бабенко по теории уравнений в частных производных. // В сб. «Конструирование алгоритмов и решение задач математической физики» . М. Наука. 1979г.
- В.М.Тихомиров. К.И.Бабенко и теория приближений. // В сб. «Конструирование алгоритмов и решение задач математической физики». М. Наука. 1979г.
- В.М.Тихомиров. Константин Иванович Бабенко. В кн. «О друзьях, которых нет с нами». М. 2011. <https://math.ru/lib/files/pdf/mehmat/OPU-sb.pdf> .
- В.М.Тихомиров. О работах К.И.Бабенко в теории аппроксимации. В кн. «О друзьях, которых нет с нами». М. 2011. <https://math.ru/lib/files/pdf/mehmat/OPU-sb.pdf>
- М.В.Келдыш и его институт. Первое двадцатилетие. М.: ИПМ РАН,2001.
- А.И.Аптекарев. О доказательных вычислениях, проблеме Гаусса и гипотезе Бибербаха в творчестве К.И.Бабенко. В книге «О друзьях, которых нет с нами». М. 2011. <https://math.ru/lib/files/pdf/mehmat/OPU-sb.pdf> .
- А.Л. Афендииков. О Константине Ивановиче Бабенко. В книге «О друзьях, которых нет с нами». М. 2011. <https://math.ru/lib/files/pdf/mehmat/OPU-sb.pdf>

Составила Афендикова Н.Г., с.н.с. Кабинета-музея академика М.В.Келдыша.