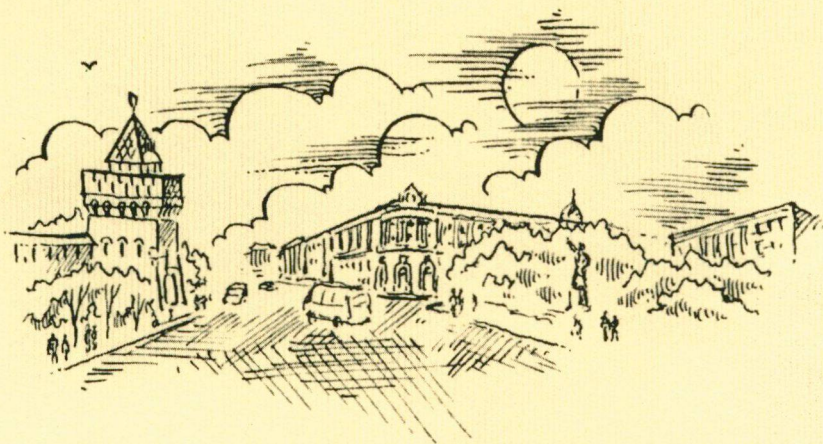


В. А. Зверев

---

# ЛЮДИ И СОБЫТИЯ. Воспоминания



НИЖНИЙ НОВГОРОД ♦ 2004

**В. А. Зверев**

**ЛЮДИ И СОБЫТИЯ.  
Воспоминания**

**НИЖНИЙ НОВГОРОД ♦ 2004**

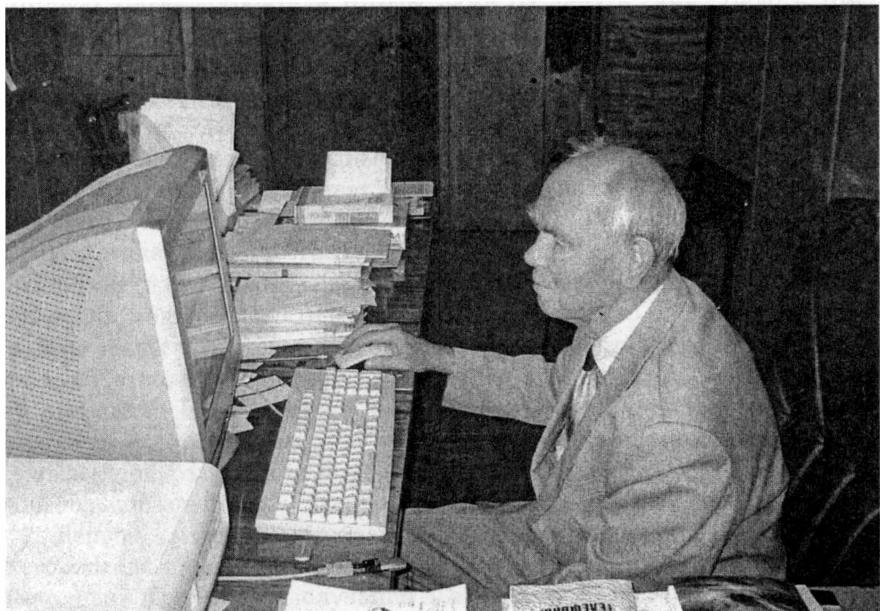
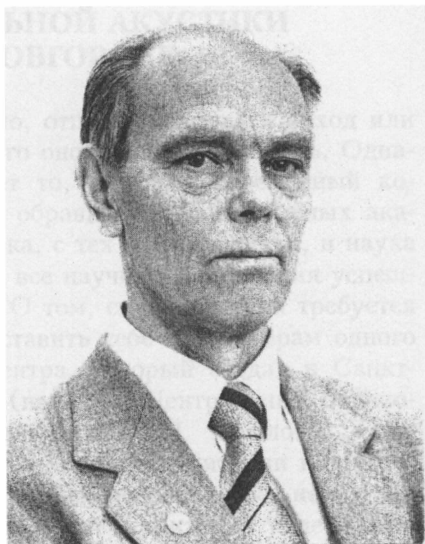
Эта книга воспоминаний В. А. Зверева издается ко дню его 80-летия. Член-корреспондент РАН, профессор Виталий Анатольевич Зверев — выдающийся ученый, автор признанных оригинальных идей и разработок, положивших начало целому ряду направлений современной акустики. Многогранная, насыщенная жизнь Виталия Анатольевича проходила в окружении многих интересных, выдающихся людей. Виталий Анатольевич написал немало воспоминаний о людях, с которыми его сталкивала судьба. В данном сборнике публикуются его рассказы о выдающихся ученых, профессорах, составивших главы и целую эпоху в развитии науки на Нижегородской земле, а также очерки о становлении и развитии отдельных разделов акустики, неразрывно связанных с именем самого автора.

Ответственные за выпуск

*И. Н. Диденкулов, Н. Н. Кралина*

© В. А. Зверев, 2004 г.

**Виталий Анатольевич  
Зверев**



**За работой. 2004 год**



## РАЗВИТИЕ КОРАБЕЛЬНОЙ АКУСТИКИ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ

Наблюдая, как загружается судно, отправляющееся в поход или в экспедицию, удивляешься, как много оно способно вместить. Однако еще большее удивление вызывает то, сколько современный корабль вмещает в себе науки. На это обращал внимание ученых академик А. Н. Крылов еще в начале века, с тех пор и техника, и наука ушли вперед, но и по сей день почти все научные достижения успешно приживаются в кораблестроении. О том, сколько науки требуется современному кораблю, можно представить себе по размерам одного только научно-исследовательского центра, который создал в Санкт-Петербурге академик А. Н. Крылов (ныне это Центральный научно-исследовательский институт им. академика А. Н. Крылова). Этот центр представляет собою настоящий город, по территории которого, как полагается в городе, курсирует автобус, поскольку без него у научных сотрудников на бегогню по огромной территории уйдет почти все их рабочее время.

Кораблестроителей интересует физика, математика, химия, масса разнообразных технических наук, но более всего повезло акустике, которую кораблестроители готовы даже развивать сами. Дело в том, что в воде никакое иное излучение в виде волн не распространяется, а акустические волны распространяются исключительно хорошо. Кораблю, особенно подводному, необходима акустика. Ему надо знать, что у него спереди, сзади, сбоку и сверху. Надо знать, где находятся другие корабли, как подводные, так и надводные. Надо знать, сколько сам этот корабль излучает акустических волн, так как по акустическому полю его «засекают» другие.

Акустика корабля требует усилий ученых разных специальностей, даже далеких от занятий акустикой. Например, проблема возбуждения мощных акустических волн в воде тесно связана с получением мощных электрических колебаний и эффективным преобразованием их в волновое поле, что относится к электродинамике и науке об антеннах. Принимаемый акустический сигнал надо эффективно выделять на фоне помех и шумов, а это самостоятельная наука. В общем, не только для корабля в целом, а даже для одной только корабельной акустики у ученых есть необъятное поле деятельности.

Первой из тех, кому обязана своим рождением и развитием Нижегородская школа корабельной акустики следует упомянуть Марию Тихоновну Грехову. Я случайно узнал, что интересы Марии Тихоновны в области корабельной науки сформировались еще в юности, и это было в Санкт-Петербурге — центре корабельной науки. Однажды

я был оппонентом по диссертации, защищавшейся в Ленинграде в учреждении, расположенном в районе Гавани. После защиты члены совета, узнав, откуда я прибыл, просили меня передать привет Марии Тихоновне, которую они помнили по совместной с ней работе с того времени, когда я еще пешком под стол ходил. Уже в то время Мария Тихоновна занималась корабельной наукой, меня уверяли, что она спускалась в подводную лодку. Этот факт она мне подтвердила. Осознав с юности значение науки для корабля, Мария Тихоновна впоследствии вложила в эту науку всю силу своего ума и таланта.

Зарождению корабельной акустики в Нижнем Новгороде способствовала организация в 1956 г. М. Т. Греховой при активном участии академика А. И. Берга Научно-исследовательского радиофизического института (НИРФИ), который проводил фундаментальные научные исследования в области радиоастрономии, имея в виду и интересы Военно-морского флота (ВМФ). Интересы ВМФ были столь широки, что охватывали все области электроники и радио, которыми был способен заниматься институт, однако особый интерес моряки проявляли к развитию акустики, что и отразилось в тематике НИРФИ.

На этапе своего создания НИРФИ был способен предложить акустические исследования физического характера, не имеющие непосредственного отношения к кораблям. Интерес ВМФ к акустике был столь велик, что предложенная в 1956 г. физическая экспериментальная работа в области акустики была поддержана ВМФ, она оказалась единственной в области акустики среди исследований, предложенных в то время НИРФИ. Началось, правда, с того, что это предложение было отклонено, так как для его выполнения требовались специальные измерительные устройства — коррелометры, которых, по убеждению специалистов ВМФ, у НИРФИ быть не могло. Такие устройства специально для акустических измерений разрабатывал Акустический институт АН СССР, и было известно, сколько труда и изобретательности требуется вложить для осуществления таких измерений. Поэтому предполагалось, что подобных устройств у НИРФИ быть не может. Когда же выяснилось, что НИРФИ располагает оригинальными оптическими коррелометрами, ВМФ поддержал предложенную акустическую работу, предоставив возможности для выполнения экспериментов на своих судах и базах.

Эта работа завершилась получением ряда научных результатов, которые были опубликованы. Выполняя эти исследования, НИРФИ установил связи с учеными ВМФ и Акустического института АН СССР и приобрел необходимый опыт эксперимента в области морской гидроакустики. Это оказалось весьма полезным для последующей работы.

## Как появилась корабельная акустика в Нижнем Новгороде

Работы, непосредственно связанные с корабельной акустикой, начались в НИРФИ после посещения института академиком Анатолием Петровичем Александровым в 1959 году. В то время основатель отечественного атомного флота был занят созданием подводного корабля, обладающего повышенной эффективностью. Акустический институт Академии наук, являвшийся в то время ведущей научной организацией в области корабельной акустики, уверял академика, что по чисто физическим причинам даже при условии существеннейшего совершенствования технической части нет возможности заметно увеличить дальность обнаружения цели, так как, оптимизировав все, что возможно, техника дошла до верхнего предела в решении этой практической задачи.

В это время А. П. Александров узнал об идее, возникшей в НИРФИ, применить для обнаружения шумов кораблей иной принцип, до сих пор в акустике кораблей не применявшийся. Идея была чрезвычайно проста. Предлагалось использовать для обнаружения акустического поля кораблей дискретные составляющие их спектров, которые лежат в области частот вращения гребного вала, т. е. значительно ниже того диапазона частот, в котором работают существующие и проектируемые акустические средства обнаружения кораблей.



**В. А. Зверев с сотрудниками своего отдела в НИРФИ**

Эта идея появилась в НИРФИ не в результате стремления усовершенствовать корабельную акустику, о которой в НИРФИ никто понятия не имел, а в результате желания пристроить к делу неожиданно полученные экспериментальные результаты. Это были спектры сигналов, снятые с датчиков электромагнитных колебаний при проходе вблизи них подводных лодок. Самый активный сотрудник НИРФИ В. А. Кротов привез из экспедиции записи электромагнитных полей кораблей. Исследуя спектры этих сигналов, мы установили, что они содержат очень узкие (практически дискретные) частоты, кратные частоте вращения гребного вала. Теоретическими исследованиями, выполненными В. П. Докучаевым, было установлено, что наблюдаемые электромагнитные поля вполне могли быть следствием преобразования в электрическое поле мощных акустических сигналов. Такой сигнал мог, вызывая движение проводящей морской воды в магнитном поле Земли, воздействовать на датчик, установленный на морском дне. Эта гипотеза была подтверждена лабораторным экспериментом, проведенным С. М. Горским. После этого мы стали считать, что наблюдаемые нами дискретные спектральные линии содержатся в акустическом низкочастотном излучении корабля, и была выдвинута идея обнаруживать корабли по этим дискретным линиям спектра.

А. П. Александров, узнав о новом принципе акустического обнаружения кораблей, увидев реальные спектры излучения кораблей, оценки возможностей их обнаружения в шуме, а также оригинальные оптические коррелометры, с помощью которых были выполнены исследования, счел целесообразным поручить НИРФИ выяснить возможности диапазона частот вращения гребного вала для дальнего обнаружения целей. Тогда он произнес, обращаясь к научным сотрудникам НИРФИ, следующую фразу: «Теперь ваша спокойная жизнь кончилась!» Его слова сбылись, так как с этого момента в НИРФИ появилась корабельная акустика, оказавшаяся активным и прожорливым птенцом, требующим все новых и новых научных результатов.

По инициативе Анатолия Петровича состоялся доклад нирфинцев в Акустическом институте АН СССР. Выяснилось, что акустики, занимавшиеся корабельными гидроакустическими средствами обнаружения целей, выбирая диапазон частот, заботились о том, чтобы эффективно работала акустическая антенна. Эффективность ее тем выше, чем больше отношение размера антенны к длине акустической волны. Размеры корабля ограничивают размеры антенны, и потому акустикам оставалось укорачивать длину волны, увеличивая частоты. Частоты вращения гребного вала оказались намного ниже оптимального для корабельных гидроакустических средств диапазона частот, определенного профессиональными акустиками.

НИРФИ основывало свои расчеты на двух факторах, которых нет в той части спектра, где эффективно работает антенна. Во-первых, излучение гребного винта интенсивно, а во-вторых, спектральная линия такая узкая, что ее выделение может быть произведено на фоне шума с высокой эффективностью. Оба фактора в совокупности могут компенсировать низкую эффективность акустической антенны в этом диапазоне. О существовании весьма важного второго фактора акустики не знали, так как аппаратура, позволяющая определить ширину спектральной линии в столь низком частотном диапазоне, была в то время только у НИРФИ.

В результате обсуждений институту была поручена крупная работа по созданию действующего макета тракта обнаружения целей по излучаемым ими дискретным составляющим спектра. Исследования, связанные с этой темой, были поддержаны ВМФ и правительством так всесторонне и оглушительно, как никто из сотрудников НИРФИ и мечтать не мог. Институту для выполнения этих работ был придан целый завод. Для доставки на выделенный корабль аппаратуры, необходимой НИРФИ для исследований, включая оригинальную и срочно изготовленную, потребовалось три рейса грузового самолета.

Но, не суждено было верблюду пролезть в игольное ушко, сенсации не получилось. Проведенные исследования, подтвердив правильность первоначальной идеи, показали и ее недостаточность для немедленного практического воплощения. Эти исследования, доказав существование в акустическом спектре подводных лодок дискретных линий, не завершились успешным опытом по дальнему обнаружению малошумной подводной лодки, как было задумано. Созданный лабораторный макет мог следить за определенной целью, а обнаружить ее при отсутствии априорной информации он не мог. Решающие, чрезвычайно убедительные данные, подтверждающие существование дискретного спектра, получил в самый нужный момент все тот же В. А. Кротов.

Хотя задуманное не получилось, но и полученный результат был большим успехом. Оригинальные оптические спектральные анализаторы позволяли одновременно определять около тысячи точек спектра. В то время других приборов, способных осуществлять параллельный спектральный анализ на низких частотах с такими высокими параметрами, не было нигде в мире. Выигрыш, получаемый с помощью этих приборов, был около 30 дБ, что сопоставимо с выигрышем хорошей акустической антенны.

В разработку и создание оптических анализаторов спектра и коррелометров вложилась Е. Ф. Орлов. Конструкторы И. В. Мосалов и В. П. Хрулев разработали и создали уникальные оптические анализаторы спектра и коррелометры, которым нет аналогов в мире и кото-

рые всем на удивление обрабатывали сигналы не хуже современных компьютеров.

Следует упомянуть научных сотрудников, руками и мыслями которых создавалась оригинальная аппаратура и получались результаты. Это И. К. Спиридонова, И. С. Раков, В. И. Ларин, С. М. Горский, Л. А. Жестянников, Г. А. Шаронов, А. И. Калачев.

Шумы и помехи в низкочастотном диапазоне оказались намного выше, чем в области традиционных для акустиков частот. В результате специалисты-акустики оказались правы в том, что на таких низких частотах слишком малым получался выигрыш антенны.

Итак, опыт проведения экспериментальных исследований в море у коллектива НИРФИ был, но не было самого главного. Для приема волн столь низкого диапазона частот требовался излучатель, эффективно работающий в низком звуковом диапазоне частот. В то время таких излучателей еще не было. Однако в НИРФИ был научный сотрудник, И. И. Шмелев, который любил и умел решать трудные задачи. По его эскизам такой излучатель был изготовлен и удачно прошел испытания. С помощью разработанного И. И. Шмелевым излучателя экспериментальная часть исследования, порученного НИРФИ, была успешно завершена.

Идею и результаты, полученные НИРФИ, высоко оценил В. В. Громковский, возглавлявший в то время «Океанприбор». Специалисты «Океанприбора» (я, к сожалению, не знаю их имен, так как к этому времени работы НИРФИ в этом направлении были прекращены) создали для диапазона низких частот высокоэффективную антенну, а с ней принцип, предложенный НИРФИ, оказался эффективным и был успешно внедрен.

По инициативе и при поддержке сормовичей — строителей и конструкторов кораблей — исследования НИРФИ были продолжены в ином, можно сказать, противоположном направлении. Перед НИРФИ встала задача разработать физическую основу для конструирования корабля, минимально шумящего в ставшем опасным для него низкочастотном диапазоне.

### **Начало работ Института прикладной физики АН в области корабельной акустики**

Когда на базе НИРФИ в 1977 году был организован Институт прикладной физики Академии наук (ИПФ), ему было поручено в числе других проблем заниматься физическими основами дальнего гидроакустического обнаружения малозумящих целей и защиты кораблей от такого обнаружения. Эти работы курировались в масштабе



Академии наук, ВМФ и Министерства судостроительной промышленности (МСП) специально созданным научным советом по гидрофизике при президиуме Академии наук. В то время, когда ИПФ были поручены Президиумом АН эти работы, совет по гидрофизике возглавлял академик А. П. Александров, а директор ИПФ академик А. В. Гапонов-Грехов был его первым заместителем и определял научное направление работ в области дальнего гидроакустического обнаружения и защиты от него.

Результаты деятельности ИПФ в указанных ему направлениях в первую очередь проявились в области защиты кораблей от средств дальнего гидроакустического обнаружения, работающих на низких частотах по дискретным составляющим спектра их излучения. Б. М. Салиным совместно с А. В. Гапоновым-Греховым было показано, что существуют реальные пути исключения акустического излучения гребного винта на частоте вращения гребного вала и ее гармониках. Для этого необходимы два мероприятия: надо виброизолировать винт от корпуса и придать ему нейтральную плавучесть.

Другим источником демаскирующего акустического излучения является шум механизмов корабля. Выясняя физическую основу возбуждения акустических волн вибрирующими механизмами, ИПФ пришел к выводу, что главную роль в возбуждении акустического поля на низких частотах играют не вибрации, а силы, с которыми вибрирующий механизм действует на корпус. Это происходит вследствие того, что корпус любого корабля (даже прочный корпус подводной лодки) по сравнению с окружающей его водой является вовсе не жестким, а даже очень мягким, гораздо легче сжимаемым, чем вода. Измерять и контролировать силы несравненно сложнее, чем вибрации, и это выливалось в сложнейшую проблему.

Проблема была решена в институте весьма эффективно и просто путем применения широко используемого в электродинамике принципа взаимности. Оказалось, что измеряя вибрации, возникающие на механизме под влиянием излучения внешнего акустического источника, можно определить искомую силу действия механизма на корпус, вызываемую вибрациями этого механизма, и выявить вклад вибраций механизма во внешнее акустическое поле корабля, что иными способами сделать крайне трудно.

Для локализации источников механической природы и контроля виброизоляции механизмов Б. М. Салиным и С. М. Горским были выполнены измерения, основанные на методе взаимности. Внешним широкополосным акустическим источником, в разработку которого много изобретательности и энергии вложил Б. М. Салин, озвучивался корабль, а на отдельных механизмах специальными вибродатчи-

ками, разработанными В. А. Антонцом, измерялся наведенный источником уровень вибрации. По этому уровню и уровню виброактивности механизма оценивается его вклад во внешнее поле.

В последнее время усилиями В. И. Турчина и Б. М. Салина институт занимается научными основами контроля шумности кораблей. Существующие методы контроля не позволяют с достаточной надежностью определять многие параметры акустического поля корабля, влияющие на его акустическую скрытность. С целью создания научных основ для совершенствования этой методики разработана и осуществлена схема измерения акустической мощности слабого (сравнительно с уровнем шума) источника в ближней зоне антенны. Это позволяет измерять интенсивность и определять направленные свойства таких слабых источников, которые неподвластны ни дальнему обнаружению, ни измерениям вблизи с помощью существующих методов. Научной основой метода стал специальный метод апертурного синтеза, соединяющий достоинства когерентного апертурного синтеза Коха и некогерентного апертурного синтеза Райла.

Такой важнейший параметр акустической скрытности, как поперечник рассеяния, вообще не контролировался. С помощью разработанных методов при подсветке корабля стационарным акустическим источником можно получать его угловые характеристики рассеяния и полный интегральный поперечник.

### **Активные методы обнаружения нешумящих целей, как новый этап развития гидроакустики**

Встает естественный вопрос, можно ли с помощью акустики обнаружить корабль, на котором приняты все возможные разумные меры по снижению его шумов? Проведенное исследование показало, что если шум корабля не обнаруживается на фоне шумов моря одичным близко расположенным гидрофоном, то его нельзя обнаружить и протяженной антенной. Тем самым было показано, что существует такой (достаточно малый) уровень шума корабля, при котором он становится невидимым на фоне окружающего шума с помощью пассивных акустических средств.

Выявлен также фактор, препятствующий эффективному использованию пассивных гидроакустических систем. Оказалось, что взволнованная морская поверхность способна создать особый вид помех — так называемую мультипликативную помеху, которая умножается на сигнал, а не складывается с ним, как обычные шумы и помехи. Такая помеха согласно выполненным в ИПФ расчетам и экспериментам, проведенным Б. М. Салиным и В. И. Турчиным, образует в угловом

спектре каждого принимаемого сигнала шумовой пьедестал, который закрывает весь акустический горизонт на некотором уровне. В условиях проведенного эксперимента пьедестал был ниже максимума сигнала на 30 дБ. Наличие такого пьедестала в угловом спектре не влияет на возможность обнаружения одиночного источника на фоне шумов моря. Однако если есть хотя бы один сильный источник, то он своим пьедесталом закрывает слабые источники так, что никакая самая изощренная обработка не в состоянии их выделить. Таким образом, наличие взволнованной морской поверхности приводит к невозможности наблюдать слабые сигналы на фоне сильных. Учитывая, что надводный корабль излучает единицы ватт акустической мощности, подводная лодка времен Второй мировой войны только милливатт, а современная малошумная подводная лодка излучает много меньше, то пьедестал, образованный в угловом спектре надводного корабля, существенно маскирует малошумную подводную лодку. (Физическая основа этого природного явления обнародована в «Акустическом журнале», а результаты эксперимента с доказательством, что образованный шумовой пьедестал «не прошибает» никакая обработка, опубликованы в самом престижном журнале IEEE Transactions on Signal Processing).

Как только стала очевидной принципиальная ограниченность пассивной гидроакустики, директор ИПФ А. В. Гапонов-Грехов выдвинул идею перехода от пассивных методов обнаружения целей к активным. Предложение ИПФ имело от существующих активных гидроакустических методов два существенных отличия. Главное из них заключалось в использовании диапазона низких частот. Существующая аппаратура активной локации использует десятки или единицы килогерц. Это следствие уже приведенных выше естественных физических соображений, касающихся размеров и эффективности излучающей и приемной антенн, эффективность которой определяется числом длин волн, укладываемых на диаметре антенны. Однако частоты, обеспечивающие эффективность излучающих и приемных систем, не пригодны для дальней локации ввиду их сильного поглощения в воде.

Низкочастотные акустические волны являются единственным видом излучения, способным распространяться во всей толще океана и на большие расстояния без существенного поглощения (всего единицы децибел на тысячу километров). Это свойство данного вида излучения открывает возможности для дистанционного зондирования океана: дальней локации объектов, находящихся в глубинах океана, определения формы поверхности и дна и др. В последнее время обогатилась возможность использования именно этого вида излучения

(никакое иное не подходит) для контроля за эффектом потепления климата, вызванным деятельностью человека.

Основные проблемы в использовании низкочастотного звука заключаются в решении новых фундаментальных научных задач. Рассматриваемый диапазон частот и океан имеют целый ряд существенных особенностей, которые нигде более не встречаются, учет которых абсолютно необходим. Без этого нельзя эффективно использовать все, что уже хорошо известно в радиолокации, оптической локации и существующей акустической локации.

Существенной особенностью низкочастотного диапазона является необходимость учета сложных дифракционных волновых явлений как вблизи, так и при больших дистанциях. Океан сложным образом преломляет акустические волны, создавая акустический волновод. Последний способствует лучшему распространению волн, но накладывает существенные ограничения на выигрыш антенны в вертикальной плоскости и на возможность получения выигрыша за счет сжатия сложного сигнала. В волноводе существуют эффекты многолучевости или многомодовости, которые в низкочастотной акустике при распространении сигналов на большие расстояния трудно разделить. Сложность решения возникающих проблем состоит в том, что они не имеют соответствующих прямых аналогов в других областях фундаментальной волновой науки.

Другая важная особенность низкочастотной акустики заключается в том, что постановка и решение фундаментальных физических задач, связанных с практическим освоением возможностей этого диапазона, существенно зависят от так называемых гидрологических условий, включающих типичные формы показателя преломления, глубину, профили и акустические свойства дна и др. То, что приемлемо для одних условий может совершенно не годиться для иных. К примеру, можно развить науку и даже провести успешные опыты в условиях северо-западной части Тихого океана. Для освоения этого же диапазона в условиях Баренцева или Карского морей придется решать совершенно иной набор фундаментальных проблем.

ИПФ начал исследования применительно к северо-западной части Тихого океана, так как в этом районе приемную часть экспериментальной системы мог полностью обеспечить «Океанприбор», успешно создавший к тому времени протяженную стационарную антенну, способную работать в широком частотном диапазоне, включая тот, который предполагал использовать ИПФ в своих исследованиях.

Для проведения экспериментальных работ с целью проверки результатов расчетов и создания физических и технических основ предлагаемого метода активной локации ИПФ пришлось создать мощные

низкочастотные излучатели. Прообраз такого излучателя был разработан И. И. Шмелевым.

Для изготовления мощных излучателей гидроакустических станций в промышленности использовалась иная физическая основа. Дело в том, что переход на низкую частоту сопровождается существенным увеличением амплитуды колебаний поверхности излучателя. Материалы, используемые для изготовления излучателей промышленностью, в принципе не могут выдерживать таких амплитуд колебаний (измеряемых сантиметрами), какие требуются для создания мощного низкочастотного излучения. Оказалось, что это выдерживает далеко не всякий металл. Такие излучатели, имеющие КПД, близкий к 100%, были разработаны Б. В. Боголюбовым на той же физической основе, на которой был построен излучатель И. И. Шмелева. Специальными исследованиями было показано, что возможно создать пластину специального профиля, способную выдерживать большую амплитуду колебаний практически неограниченное время (первые излучатели имели при максимальной мощности весьма ограниченный срок службы).

В ИПФ вдохновителем, руководителем и организатором всех работ был академик А. В. Гапонов-Грехов, роль которого в этих работах столь же неоспорима, как и роль Марии Тихоновны в работах, которые вел НИРФИ. Андрей Викторович вложил в корабельную акустику самое лучшее и дорогое, что у него было, а именно выращенных и воспитанных им специалистов-физиков широкого профиля.

Таким образом в корабельную акустику был втянут академик В. И. Таланов, без решающего научного вклада которого не было бы у нас надежных, мощных и эффективных низкочастотных излучателей, а следовательно, не было бы целого научного направления.

Занимаясь проблемой мощного акустического возбудителя волн, В. И. Таланов успешно решил ряд акустических задач, аналогичных тем, с которыми ему приходилось иметь дело, занимаясь электродинамикой, в том числе задачу одномодового возбуждения пластины, много большей длины волн возбуждаемых в ней поперечных колебаний, без решения которой сделать эффективный излучатель оказалось невозможным. Создание антенны из таких излучателей также потребовало изобретательности, поскольку эффективные излучатели сильно взаимодействуют между собой, затрудняя фазировку антенны. В эту проблему активно включился А. Г. Лучинин.

Андрей Викторович привлек в акустику видного оптика Л. С. Долина, сделавшего крупный вклад в исследование акустической реверберации, являющейся основной и часто единственной реальной помехой, препятствующей дальнему акустическому видению.

В проведении экспериментальных исследований в области активной низкочастотной гидролокации приняли участие как специалисты

ВМФ, так и промышленности. Эти исследования показали правильность предварительно сделанных оценок и завершились крупным успехом.

С помощью экспериментального действующего макета на огромной площади вскрывалась подводная обстановка в районе расположения приемной антенны. Были четко видны острова, берега, подводные горы. На этом фоне красовался специальный объект, выделенный ВМФ для исследований. Он был виден на таких больших расстояниях от приемной антенны и так надежно, о чем моряки и не мечтали. Объект был виден во всех ракурсах. Отраженный от объекта сигнал на предельно большом расстоянии выделялся на фоне реверберации только при боковом ракурсе, а при носовом или кормовом ракурсах отраженный сигнал был много меньше реверберации, но тем не менее отчетливо наблюдался благодаря доплеровскому смещению частоты выделяемого сигнала относительно реверберации.

Результаты оказались столь впечатляющими и получили столь глубокое научное обоснование, что промышленность с энтузиазмом взялась за их реализацию «в железе» за год до официального срока окончания исследований.

Блестящим организатором экспедиций ИПФ, приносивших результаты, без которых продолжение работ не представлялось бы возможным, был М. М. Славинский. В роли организатора работ успешно проявил себя А. Г. Лучинин.

Экспедицию по программе «Восток», часть результатов которой упомянута выше, возглавлял М. М. Славинский, его заместителями были И. Н. Диденкулов, В. И. Елизаров, Б. В. Кержаков, Ю. К. Постоенко, а всего в экспедиции было 20 человек от ИПФ.

В упомянутых работах участвовало много сотрудников. В итоговом отчете список исполнителей насчитывает 79 человек. Вся эта деятельность держалась на энтузиазме воплощавших ее людей, они делали все, что умели и могли по одному ключевому слову «надо!». А энтузиазм этот внушали им руководители. Блестяще это умела делать Мария Тихоновна Грехова, одним из ее «секретов» было отношение к людям. Она обо всех все знала, а как она это использовала, видно на следующем примере: сорокалетие настигло меня под водой, где я проводил исследования, находясь на подводной лодке; как только лодка всплыла, ее командир торжественно вручил мне только что полученную телеграмму от Марии Тихоновны, поздравившую меня с днем рождения.

Тот бескорыстный энтузиазм, который царил в нашем коллективе, по-видимому, был всегда еще с глубокой древности присущ ученым, делающим существенный вклад в науку.



# КАК ЗАРОЖДАЛИСЬ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ АНТЕННА И РАДИООПТИКА<sup>1</sup>

Когда я в 1950 году, закончив университет, поступил в аспирантуру к профессору Г. С. Горелику, Габриэль Семенович (ГС) поставил мне задачу исследовать возможности измерения флуктуации в механике и акустике так, как это в то время умели уже хорошо делать в электродинамике. В первую очередь следовало научиться измерять механические движения, происходящие на уровне тепловых равновесных шумов. Чтобы помочь мне лучше войти в эту задачу, ГС взял меня с собой на открывшуюся в Ленинграде первую Всесоюзную акустическую конференцию. На этой конференции ГС познакомил меня с Л. А. Черновым, который успешно исследовал флуктуационные явления в акустике. Кроме этого, я познакомился с группой ученых, которая собиралась вокруг самого ГС. В этой группе ярко выделялся, а точнее сверкал, Михаил Александрович Исакович. Он тогда не только о науке говорил, но и водил нас по Ленинграду, живо и интересно рассказывая об истории города и его архитектуре.

Меня очень заинтересовал рассказ Михаила Александровича о только что завершенной им научной работе. Ему удалось показать, что в эмульсиях скорость звука должна зависеть от его частоты. Сжатия и разрежения в звуковой волне происходят адиабатически, вызывая изменения температуры среды. Частицы эмульсии имеют иные свойства, чем остальная среда, и в результате адиабатического процесса нагреваются и охлаждаются иначе. Разность температур на низких частотах успевает сравняться за время периода колебаний среды в волне, а на достаточно высоких частотах — не успевает. В результате этого скорость звука на низких и высоких частотах должна быть различной. В однородной среде сравнения температур не происходит ни на какой частоте. С уменьшением частоты, что упрощает теплообмен, увеличивается пространственный масштаб, в пределах которого такой теплообмен должен совершаться. Таким пространственным масштабом в однородной среде является длина акустической волны, которая возрастает с уменьшением частоты.

---

<sup>1</sup> Эта статья — результат соединения двух статей (Зверев В. А. Как возникла идея о параметрической акустической антенне // Акустический журнал. 1999. Т. 45, № 5. С. 685—692; В. А. Зверев, Н. С. Степанов. Как зарождалась радиооптика на радиофизическом факультете ГГУ. Труды третьей научной конференции по радиофизике. — Н. Новгород: ННГУ, 1999. 296 с.). Обе статьи имеют общую часть, в которой описывается то общее, что предшествовало как работам по параметрической антенне, так и радиооптике. В настоящей редакции материал двух статей объединен с целью исключения из них повторов.

В эмульсиях существует фиксированный пространственный масштаб — размер частичек эмульсии, поэтому в эмульсиях дисперсия скорости звука должна наблюдаться. Измеряя дисперсию, можно определять размеры частиц эмульсии в таких местах, которые недоступны обычному наблюдению, а доступны лишь для звуковых волн. Довольно много важных и интересных случаев, в которых нет иных способов измерения свойств эмульсии.

Это меня так заинтересовало, что я стал день и ночь думать, как бы измерить чрезвычайно слабую дисперсию скорости звука в эмульсиях, предсказанную и рассчитанную М. А. Исаковичем. Возвратившись домой из Ленинграда, я придумал оригинальный способ измерения весьма слабой дисперсии скорости звука, который был привлекателен тем, что давал возможность измерять сразу дисперсию, избавляя от необходимости точного измерения скорости звука на разных частотах с последующим сопоставлением результатов. Г. С. Горелик одобрил мою идею и согласился, чтобы я занимался ею в качестве своего основного аспирантского дела, освободив меня от всех порученных мне других задач.

Идея измерения дисперсии [1] заключается в том, что модулированная волна при распространении в среде с дисперсией изменяет характер своей модуляции. Амплитудная модуляция постепенно переходит в фазовую [1 — 3]. В чистой воде дисперсия отсутствует, поэтому характер модуляции волны по мере ее распространения должен сохраняться. К моему удивлению, этого не получалось. Оказалось, что причиной изменения характера модуляции волны являются те незначительные искажения волнового поля, которые вносит в поле жесткая приемная кварцевая пластина. Я стал искать такой приемный элемент, который бы не вносил искажений в принимаемое им звуковое поле.

Был опробован так называемый емкостный индикатор звукового поля, представлявший собой конденсатор, внутри которого распространялась звуковая волна [4]. Однако этот приемник звукового поля требовал сосуда специальной формы, иначе его чувствительность катастрофически падала, а для тонких измерений требуется принять акустический сигнал с большим превышением сигнала к шуму. В качестве одного из вариантов приемной системы была опробована оптическая схема темного поля, позволяющая наблюдать звуковые поля в прозрачных средах. Оказалось, что эту схему можно так усовершенствовать, что она позволяет не только принять акустическое поле, но и одновременно с этим определить характер модуляции звуковой волны, взаимодействующей с оптическим полем.

Работа над совершенствованием оптического приемника звукового поля послужила толчком для начала серии изысканий по разработке оптических методов обработки информации. Оптический зонд не вносит возмущений в измеряемое поле, но может быть применен лишь в прозрачной среде. В качестве приемника звукового поля в эмульсии — среде непрозрачной — оптический приемник оказался неудобным.

## Параметрическая антенна

Естественно было заменить оптический зонд на акустический. Такое исследование было проведено [5]. Я в то время еще не имел постоянных сотрудников, а работал со студентами-дипломниками. В качестве дипломника у меня оказался сын моего учителя Г. С. Горелика — Андрей Горелик. Ему было поручено исследование вопроса об акустическом зонде для звука. Такую тему горячо поддержал сам Г. С. Он живо интересовался ходом работы и давал нам советы по интерпретации наблюдаемых эффектов. Это исследование явилось началом осуществления акустической параметрической приемной и излучающей антенны.

В работе [5] было установлено, что взаимодействие звука со звуком имеет место, его можно измерить, определить характер модуляции звукового поля, вызванной другим звуковым полем. Однако эффективного зонда для звукового поля это исследование не обещало. Во-первых, эффект оказался измеримым, но достаточно слабым, что не обеспечивало нужное отношение сигнала к шуму. Во-вторых, звуком надо было просвечивать измеряемое звуковое поле не поперек него (как с помощью света), а вдоль, что для зонда, не возмущающего поле, неприемлемо.

Дело в том, что измеряемый звуковой пучок и звуковой пучок, зондирующий его, распространяются в среде с одинаковыми скоростями. При попутном распространении пучков эффект их взаимодействия накапливается, так как одна волна распространяется постоянно либо в максимуме другой волны, либо в ее минимуме. При поперечном распространении такого синхронизма нет. Зондирующая волна то ускоряется, то замедляется измеряемым звуковым полем. Эффект может накопиться только в пределах, не превышающих половины длины волны, а этого явно недостаточно даже для того, чтобы заметить эффект, не говоря об его измерении. Тогда было решено, что эффект взаимодействия волн интересен как физическое явление, но практически его использовать в решении тех задач, которые стояли перед нами, смысла нет.

В работе [5] была продемонстрирована возможность параметрического приема и излучения звука. Там наблюдались боковые частоты модуляции, представлявшие собой параметрически излученный звук. Их присутствие в спектре высокочастотного колебания было обусловлено влиянием акустического поля низкой частоты и могло быть использовано для приема и измерения этого поля. Полученный в работе [5] результат был так интересен, что я продолжал обдумывать его и после того, как выяснилась невозможность его использования для создания акустического зонда. Я рассматривал формулы, описывающие эффект взаимодействия акустических волн, обсуждал их с Г. С. Гореликом (его сын к тому времени уже защитил свой диплом и уехал работать в Москву). Как раз в это время у меня появился штатный сотрудник — Алексей Иванович Калачев. Он помогал мне работать со студентами, а когда они заканчивали свои дипломы и уезжали, то он продолжал работать на тех установках, которые были ими созданы. Особенно ему пришлось по душе работа по взаимодействию акустических волн. Он внимательно и скрупулезно со свойственной ему дотошностью изучил всю литературу по взаимодействию звуковых волн, которой к тому времени было уже достаточно много [6 — 9]. Эта литература была во многом противоречива, что подстегивало А. И., обожавшего во всем полную ясность и порядок. А. И. поставил эксперимент [10], развивающий работу [5].

В 1953 г. я успешно защитил кандидатскую диссертацию, посвященную новому способу измерения дисперсии скорости звука, и всю набивал себе шишки, занимаясь научными исследованиями. Шишек было достаточно, в силу чего в 1955 г. М. Т. Грехова, организовав Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ), пригласила меня заведовать в нем отделом. Опыт работы с модулированными колебаниями и волнами подсказал мне идею формирования научной тематики отдела. В качестве таковой я выбрал разработку новых эффективных методов измерения спектров и корреляционных функций случайных колебаний и волн. Такие измерения имели теоретическую основу, изложенную в [11, 12]. Там показано, что волна, распространяющаяся в среде, содержащей случайные неоднородности, должна иметь дисперсию. Способ измерения дисперсии, разработанный в связи с задачей, поставленной М. А. Исаковичем, давал возможность определять пространственные спектры неоднородностей, определять размеры отдельных тел, на которых происходит дифракция волн. Все это можно было делать, принимая волну всего в одной точке среды [13]. Параллельно с подготовкой к таким измерениям продолжались исследования возможностей оптического зонда для регистрации акустических волн с одно-

временной их пространственной и временной обработкой, которые быстро и неожиданно дали мощный побочный результат. Они привели к созданию оптического анализатора спектра и коррелометра, не имевших аналогов в мире [14, 15].

НИРФИ создавался с помощью одного из главных управлений Военно-Морского Флота (ВМФ). ВМФ интересовали работы НИРФИ в области радиоастрономии, которые обещали заложить научные основы ориентирования кораблей в море по радиоисточникам, что можно делать в любую погоду, когда звезд не видно, и даже из под воды. Однако интерес ВМФ к гидроакустике настолько превосходил интерес к радиоастрономии, что М. Т. попросила меня попробовать применить полученные мной результаты именно в гидроакустике. Выполняя эти работы, мы стали с помощью оптических анализаторов спектра исследовать низкочастотные спектры акустических сигналов и шумов, что с помощью существовавшей тогда стандартной аппаратуры нельзя было сделать в широком диапазоне частот с высоким разрешением. Исследования показали целесообразность освоения в интересах ВМФ низкочастотного акустического диапазона (ниже 100 Гц). Аппаратура спектрального и корреляционного анализа у нас была, была и возможность дальнейшего совершенствования этой аппаратуры, но надо было принимать и излучать акустические сигналы. В то время мы делали это лишь с помощью отдельных точечных гидрофонов, достаточно протяженных антенн мы в то время ни получить, ни изготовить не могли. Отсутствие направленного приема сильно затрудняло расшифровку принимаемых акустических сигналов и их спектров.

Тут и пригодилась идея о взаимодействии акустических волн. К тому времени и у меня, и у А. И. Калачева были физические представления о том, как взаимодействуют между собой акустические волны. Нам было очевидно, что с помощью взаимодействия волн можно принимать колебания и излучать их. В частности, было ясно, что с помощью взаимодействия волн можно, используя уже имеющиеся акустические средства, создать акустическую антенну бегущей волны гигантских размеров. Были рассчитаны характеристики этой антенны: ее диаграмма направленности и чувствительность.

Курирующие эту работу военные сначала отнеслись к идее создания бестелесной направленной антенны весьма скептически. Им казалось многое в этой идее нереальным, диким и непонятным. С одной стороны, по нашим расчетам для приема с помощью такой антенны волны, имеющей уровень, интересующий военных, надо измерять запаздывание звукового пучка на величину порядка  $10^{-12}$  с. Это считалось нереальным. С другой стороны, когда от нас требовали ска-

зять, какова чувствительность нашего приемника в микровольтах на бар, мы доказывали, что чувствительность нашего приемника составляет несколько милливольт на бар (можем сделать и несколько вольт на бар), а о микровольтах речь не идет. Это было непонятно. Дело заключалось в том, что наша антенна обладала определенными характеристиками чувствительности лишь по отношению к глубине модуляции высокочастотного сигнала принимаемым низкочастотным. Самого принимаемого сигнала на антенне не было. Не было ни микровольт, ни милливольт ни на какой бар. Принимаемый сигнал появлялся только на выходе фазового детектора. Его величина зависела не только от глубины модуляции, которая характеризует эффективность антенны, но и от уровня детектируемого высокочастотного сигнала. Этот уровень (при условии подавления несущей частоты) достигал многих вольт (тысячи и более), что обеспечивало такие показатели чувствительности антенны, которые шокировали опытных акустиков.

Для проверки идеи создания антенны была изготовлена и установлена в подвале НИРФИ ванна из оцинкованного железа, и начались эксперименты по взаимодействию волн. Начало этих работ относится к 1959 году. В то время все работы по гидроакустике курировались ВМФ и велись секретно. Практически ничего из того, к чему проявлялся интерес специалистов ВМФ, в открытой литературе не появлялось. Не стала исключением и эта работа. К серьезным трудностям засекречивание работ в то время не приводило, они широко обсуждались, их результаты были хорошо известны всем ведущим специалистам, так как в подобном положении были практически все научные работники, занимавшиеся исследованиями в области акустики в интересах ВМФ. В интересах того же ВМФ было и широкое обсуждение исследований. Заказчики периодически устраивали приемку ведущихся работ, собирая для этого комиссии специалистов.

Характерен такой эпизод. Мы с А. И. Калачевым после успешного завершения предварительных исследований подали две заявки на изобретения. Одно было посвящено параметрическому приемнику, а второе излучателю. Все это было, как и полагалось, секретно. О результатах рассмотрения этих заявок мы еще ничего не знали, когда поехали на Пятую всесоюзную акустическую конференцию в Киев. Мы прибыли туда одновременно с москвичами. Когда я влезал в автобус, который встречал прибывших, по нему прокатился шепот: «А вот и сам Зверев идет. Пусть внесет ясность». Оказалось, что весь автобус продолжает начатое еще в Москве обсуждение, будут или не будут работать предложенные мной и А. И. Калачевым параметриче-



ские приемник и излучатель. Поводом для оживленной дискуссии послужили наши секретные заявки на изобретения.

Сомнения в том, должно ли все это работать, были более чем обоснованы. М. А. Исаковичем было математически точно показано, что плоские акустические волны различных направлений распространения не взаимодействуют между собой с точностью до второго порядка. Взаимодействие же в третьем и более высоких порядках в воде и в воздухе столь мало, что им можно смело пренебречь. Любое акустическое поле можно представить себе в виде суммы плоских волн. Отсюда можно сделать вывод, что никакие акустические поля взаимодействовать между собою не должны. Аналогичные выводы содержались и в литературе.

В результате рассмотрения заявок на акустический параметрический приемник нам секретное авторское свидетельство выдали [16]. Благодаря ему мы имеем основания на приоритет в этой области. На излучатель нам свидетельство так и не выдали. Эксперты решили, что параметрический излучатель работать не будет. В заключении была фраза, что к этой заявке можно вернуться и выдать свидетельство, если авторы докажут, что излучатель работать будет. Мы это доказали (и не только мы), это стало общеизвестным фактом, однако авторское свидетельство по этой заявке мы так и не получили.

Параметрическая антенна привлекательна не только тем, что она бестелесна и может иметь гигантские размеры. У нее есть очень важные принципиальные преимущества перед антенной, представляющей собой решетку из обычных ненаправленных приемников, которые надо сфазировать между собой с высокой точностью. Это сложная техническая задача — обеспечить не только идентичность фазовых и амплитудных характеристик многих приемных элементов, но и их определенное расположение. Точность выполнения этих операций при всех затрачиваемых усилиях остается конечной, в силу чего такая антенна имеет боковое поле, которое нельзя заранее точно рассчитать и даже трудно оценить, а это существенно портит характеристики антенной решетки. Антенна ценна не тем, что она имеет максимум направленности, который может быть направлен в сторону полезного сигнала. Наибольшую ценность для акустики имеет свойство антенны подавлять мешающие сигналы и помехи, препятствующие выделению полезного сигнала. Именно этому наиболее ценному для акустики свойству антенны кладет предел конечная точность фазировки и юстировки приемных антенных элементов. Параметрическая антенна такого предела не имеет. Она обладает идеальной (чисто теоретической) характеристикой направленности и практически неограниченным динамическим диапазоном.

Идею осуществления параметрической антенны сразу понял и оценил академик Анатолий Петрович Александров. Он из бюджета своего института немедленно выделил средства на реализацию такой антенны в натуральных морских условиях. Антенна была создана в 1961 году еще до выхода в свет знаменитой работы Вестервелта [17], в которой идея осуществления такой антенны впервые прозвучала на весь мир, вызвав многочисленные отклики. С момента выхода этой работы весь акустический мир почти ежегодно собирался на симпозиумы по нелинейной акустике. В одном из них, состоявшемся в Москве в 1975 г., участвовали и мы с А. И. Калачевым [18]. К тому времени вышли из печати наши работы, посвященные физическим принципам работы параметрических антенн [19 — 21].

На дно моря, на глубину примерно 30 метров, были опущены два кронштейна, отстоящие один от другого на 200 метров. На одном кронштейне был акустический приемник, а на другом — акустический излучатель на частоту 200 кГц. С помощью водолазов эта система была отъюстирована на максимум сигнала частоты 200 кГц, принимаемого приемником. Высокочастотный луч являлся как бы телом антенны бегущей волны. Вокруг этого луча совершал циркуляцию корабль, буксировавший низкочастотный излучатель. На эту параметрическую антенну был принят как сигнал излучателя, так и шум корабля. Была получена характеристика направленности антенны, оказавшаяся в полном соответствии с ожидавшейся теоретически диаграммой направленности антенны бегущей волны, имеющей размер 200 метров. Аналогичных результатов в натуральных морских условиях (судя по публикациям) до сих пор не получил никто, несмотря на то что сейчас все, что касается параметрической приемной акустической антенны, хорошо известно. Первая параметрическая антенна эффективно работала всего несколько дней. На другой же день она работала много хуже, чем вначале, так как существенно уменьшился уровень принимаемой несущей частоты. Явно изменилась юстировка излучателя, а водолаза, чтобы ее подправить, уже не было. Мы решили все это учесть в экспериментах следующего года. Было изготовлено новое оборудование, позволявшее юстировать систему без участия водолаза. Однако «макнуть» его не удалось. Дело по освоению низкочастотного диапазона за этот год пошло так успешно, что было поручено мощной исследовательской организации, которой в то время еще не нужна была параметрическая антенна. Эта фирма специализировалась на разработке и изготовлении акустического вооружения кораблей. Она была в состоянии изготовить достаточно протяженную антенну, состоящую из обычных приемных элементов, обладающих чувствительностью, измеряемой микровольтами на бар «без дураков».

Впоследствии, уже полностью освоив нужный диапазон частот и создав соответствующее вооружение, эта фирма стала интенсивно разрабатывать оптические анализаторы и создавать гигантские параметрические антенны. Мы принимали участие в этих исследованиях.

В мире основное внимание было уделено параметрическому излучателю, как единственному средству получать узкую диаграмму излучения с помощью устройства, много меньшего длины акустической волны. У нас идея такого излучателя, высказанная одновременно с идеей параметрического приема, резонанса не получила. Это произошло в силу чрезвычайно малого КПД такого излучателя. По нашим оценкам, сделанным в то время, получалось следующее. Если подать саму низкую частоту на излучатель, создающий в среде высокочастотное поле, то при этом в среде будет создано гораздо большее низкочастотное поле, чем то, которое направленным образом создается за счет глубокой модуляции высокочастотного поля этого излучателя. Это получается, несмотря на то что высокочастотный излучатель работает весьма эффективно на своей резонансной частоте, а низкую частоту, находящуюся далеко вне резонанса, он излучает.

Впоследствии оказалось, что в наших расчетах учтено не все. Мы ограничивали область взаимодействия волн близких частот исходя из уровней взаимодействующих сигналов. Как-то само собой разумеющимся казалось, что могут эффективно взаимодействовать только интенсивные волны, а там, где они слабы, результат их взаимодействия так мал, что им можно пренебречь. Это мы и сделали ради упрощения получения оценок. На самом деле на результат нелинейного взаимодействия волн близких частот их естественная цилиндрическая или сферическая расходимость, уменьшающая их уровень до ничтожнейшей величины, влияния почти не оказывает. Падающая эффективность взаимодействия может компенсироваться увеличением области взаимодействия. Ограничения такой компенсации наступают в силу двух причин: во-первых, вследствие поглощения волн, во-вторых, вследствие того, что сферический фронт волны не является оптимальным для генерации низкой частоты. Эффективное увеличение уровня излучаемой низкой частоты происходит за счет той области пространства, в которой сферический фронт волны можно приближенно считать плоским. Это ограничение тем меньше сказывается, чем ниже излучаемая параметрическим образом низкая частота.

Когда мы это поняли, то увидели, что параметрический излучатель может быть эффективным на больших расстояниях в среде, слабо поглощающей исходное излучение. Мы поставили уникальный опыт, в котором был уверенно принят сигнал параметрического излучателя на дистанции 1000 км [22].

Пользуясь случаем, хочу подробнее рассказать о моем соавторе — А. И. Калачеве. Его так увлекла идея взаимодействия волн, что он думал о ней постоянно. Собираясь в экспедицию для выполнения исследований, А. И. брал с собой огромный чемодан, набитый научной литературой, его записями и чистой бумагой. Все свое свободное время, урывая его от сна, А. И. читал и размышлял над любимой проблемой. Я решил, что ему пора уже защитить диссертацию, но проблема взаимодействия волн в силу своей объективной сложности, массы противоречивой литературы для этой цели не годилась. Я дал А. И. иную тему. Он должен был теоретически рассчитать, изготовить и опробовать малогабаритный датчик, позволявший измерять в среде не скорость звука, а непосредственно ее градиент. Для этого годился метод определения малой дисперсии. А. И. добросовестно выполнил эту работу, но выполнил ее без отрыва от проблемы взаимодействия волн. В качестве диссертации он настойчиво хотел взять облюбованную им проблему, по ряду пунктов которой он имел мнение, противоречащее тому, которое содержалось в литературе. Такую диссертацию совет нашего института к защите не принял, ссылаясь на то, что у А. И. мало опубликовано работ в научных журналах. наших специалистов отпугивала сложность доказать упорному фанату А. И., что он в ряде случаев не прав, в чем никто из них не сомневался. Пришлось направить эту диссертацию в совет Акустического института (АКИН) Академии наук СССР. Там годились не только статьи, опубликованные в журналах, но и закрытые отчеты, которых у А. И. было предостаточно. В АКИНе к диссертации А. И. отнеслись настороженно, так как то, что совет нашего института фактически отказал А. И., было там известно. Диссертацию А. И. дали М. А. Исаковичу — «грозе диссертантов». М. А. ухитрился при обсуждении диссертаций мгновенно замечать ее «скользкие места», что иногда приводило к необходимости доработки уже законченной работы.

Диссертацию Калачева М. А. Исакович читал особенно внимательно, проверяя каждую формулу, каждое утверждение. А. И. ездил к нему по его вызовам неоднократно. Они подолгу беседовали. В результате М. А. не только рекомендовал эту диссертацию к защите, но и стал по ней официальным оппонентом. Свое выступление на совете М. А. начал примерно так: «По регламенту совета выступление официального оппонента никакими временными рамками не ограничено. Поэтому я буду выступать долго, пока я не скажу, что сделал диссертант, как и почему ему это удалось и прав ли он или нет в тех своих утверждениях, в которых он вступил в противоречие с существующим авторитетным мнением». В действительности М. А. для всего этого много времени не понадобилось. Он быстро убедил совет в том,

что А. И. представил хорошую диссертацию, в которой все правильно. В результате решением совета Акустического института от 18 апреля 1972 г. Алексею Ивановичу Калачеву была присуждена ученая степень кандидата физ.-мат. наук.

А. И. Калачев, не избалованный вниманием к своему научному творчеству, был М. А. чрезвычайно признателен. Он не пропускал случая, чтобы поздравить М. А. с очередным праздником. Когда М. А. приезжал в наш институт или университет читать лекции, то А. И. не отходил от него, стараясь не пропустить момента оказать какую-либо услугу, и был счастлив, если это ему удавалось.

Для меня Михаил Александрович сделал несравненно больше. Поэтому я старался не отставать от А. И. в стремлении выразить признательность М. А. Начиная свою научную деятельность, я приезжал к М. А. в Москву как к себе домой, жил у него, и мы беседовали с ним по всем вопросам. Он задавал мне различные физические задачи и подсказывал, над какими проблемами стоит работать. Делал он это чрезвычайно тонко и деликатно. Чтобы я не переживал, что с эмульсиями у меня ничего не выходит, он подсказал мне среду — проволоку, в которой все получилось, так как для этой среды мне удалось сделать приемник, не искажающий звуковое поле. Да как подсказал! Он сказал, что есть объект, обладающий дисперсией, но это такая дисперсия, от которой мой тонкий метод с презрением отвернется. М. А. познакомил меня с Л. Д. Розенбергом, Ю. М. Сухаревским, Г. Д. Малюжинцем. Общение с этими выдающимися акустиками мне дало чрезвычайно много. Моя докторская диссертация, которую я защитил в 1964 г., состояла из трех частей: фазовый вариант модулированного колебания и его различные применения в физике, оптические анализаторы и их использование и, наконец, нелинейные излучатель и приемник звука. Вся эта троица появилась в моем творчестве благодаря Михаилу Александровичу Исаковичу.

Сейчас остро направленный помехоустойчивый прием акустических волн в море стал гораздо менее актуальной задачей, чем это было в то время, когда только зарождалась идея о параметрической антенне, хотя параметрическая антенна может эффективно применяться для анализа распространения волн в сложных морских условиях, а не только в военных целях [23, 24]. В настоящее время не менее важна задача создания параметрического направленного микрофона, работающего в воздухе. Такой микрофон был в свое время изготовлен А. И. Калачевым по моей просьбе для лекционной демонстрации. Он представлял собою ультразвуковой луч протяженностью около одного метра на частоте порядка 200 кГц. Сигнал, возбуждаемой голосом лектора, был виден на экране электронного осциллографа

только в том случае, когда лектор стоял возле излучателя ультразвукового луча. Стоило лектору встать с противоположной стороны, как его голос переставал возбуждать видимые сигналы.

Алексея Ивановича уже не было среди нас (он скоропостижно скончался), когда мы снова вернулись к идее воздушного параметрического микрофона. Нас привлекла мысль создать высокочувствительный направленный микрофон.

Звуковые волны взаимодействуют между собой благодаря двум эффектам. Наиболее простой из них — это ускорение или замедление одной волны за счет движения частиц среды, вызванного другой. Второй эффект состоит в изменении скорости одной волны под действием изменения давления в среде или ее плотности, вызванного другой волной. В воде на первый план выходит второй эффект, а в воздухе — первый. Его очень легко достаточно точно рассчитать. Изменение времени прохождения волной пути  $L$ , вызванное изменением знака скорости  $v$  частиц под действием другой акустической волны (при их попутном распространении в среде без дисперсии), будет

$$\Delta t = L \left( \frac{1}{c+v} - \frac{1}{c-v} \right), \quad (1)$$

где  $c$  — скорость звука.

Изменение фазы волны, вызываемое периодическим изменением времени ее распространения  $\Delta t$ , будет

$$\Delta \varphi = 2\pi f \frac{\Delta t}{2}, \quad (2)$$

где  $f$  — частота волны, изменение фазы которой определяет (2). Подставляя (1) в (2) и делая упрощения (считаем  $c \gg v$ ), получим

$$\Delta \varphi = 2\pi \frac{L v}{\lambda c}. \quad (3)$$

Из формулы (3), с которой мы в свое время начинали свои расчеты, для воздушного микрофона, обладающего лучом длиной в 1 метр, на частоте 200 кГц получаем оценки, приведенные в таблице.

| Тип звука              | Уровень дБ<br>к 20 мкПа | Отношение<br>$v/c$ | Глубина<br>модуляции фазы |
|------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|
| Тиканье часов          | 20                      | $2 \times 10^{-9}$ | $9 \times 10^{-6}$        |
| Шепот с расстояния 1 м | 30                      | $6 \times 10^{-9}$ | $3 \times 10^{-5}$        |
| Тихий разговор         | 40                      | $2 \times 10^{-8}$ | $9 \times 10^{-5}$        |
| Разговор               | 60                      | $2 \times 10^{-7}$ | $9 \times 10^{-4}$        |
| Громкая речь           | 70                      | $6 \times 10^{-7}$ | $3 \times 10^{-3}$        |



Чувствительность микрофона к слабым звукам определяется тем, насколько слабую фазовую модуляцию можно детектировать. Это требует специального рассмотрения, которым мы в рамках данной публикации заниматься не будем. Ограничимся тем, что уровень минимально обнаружимой модуляции определяется не только величиной тепловых шумов входных цепей, но и амплитудой детектируемого колебания, которая может быть весьма велика за счет фильтрации несущей частоты (что уже было отмечено выше). Предел этому кладет требуемый динамический диапазон устройства. Практически А. И. Калачеву удавалось детектировать сигналы, обладающие глубиной фазовой модуляции в  $10^{-8}$  радиан.

Таким образом, параметрический микрофон отличается своей чувствительностью. Основное же преимущество ему дает его направленность. С помощью лабораторного макета параметрического микрофона, приемный луч которого имел длину 1 м, мы недавно произвели следующий опыт. В небольшой комнате одновременно говорили (каждый свое) все принимавшие участие в создании макета микрофона (5 чел.). Из них только один располагался так, что звук его голоса распространялся вдоль ультразвукового луча. В результате при воспроизведении записи с обычного микрофона разобрать ничего было нельзя. Голоса одновременно говоривших людей хорошо заглушали друг друга. При воспроизведении записи с параметрического микрофона, сделанной одновременно с записью на обычный микрофон, был слышен голос только того человека, который говорил по направлению приемного звукового луча. Такой микрофон хорошо подавляет реверберацию и способен находиться в поле громкоговорящего, озвучивающего помещение, не возбуждая генерации.

Совершенно очевидно, что будущее принадлежит именно таким бестелесным микрофонам, обладающих целым рядом принципиальных преимуществ перед существующими микрофонами.

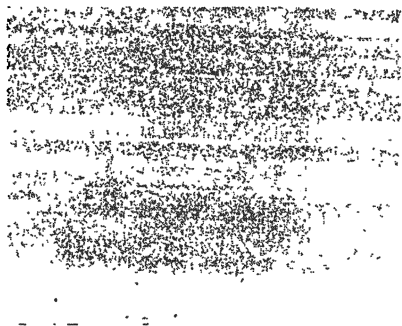
## Радиооптика

Радиооптика. Что мы обозначаем этим словом, а точнее, термином? Радиооптика является составной частью более общего понятия — радиофизики. Весьма емкое определение радиофизики, предложенное С. М. Рытовым («Радиофизика — это физика для радио и радио для физики»), можно распространить и на радиооптику. Как же осуществляется это «радио для оптики и оптика для радио»?

Начнем с конкретного примера, играющего здесь наиболее видную роль, так как именно с него началось развитие радиооптики в стенах Горьковского (ныне Нижегородского) университета. Рассмотр-

рим способ и реализующее его устройство получения изображений с применением как радио, так и оптики. Радиочасть устройства представлена радиолокатором, установленным на самолете. Этот радиолокатор не заканчивается формированием изображения на экране электронно-лучевой трубки, а имеет оптическое продолжение, включающее в себя оптический объектив, формирующий оптическое изображение; источник света и фотопленку, как средство отображения того изображения, которое начинается с радиолокатора.

В этом гибриде оптики и радио важны и чрезвычайно существенны, принципиальны радио и оптическая части. Это наглядно показывают приводимые рисунки. На рис. 1 изображен сигнал, получающийся на выходе радиотехнической части устройства, который фиксируется на экране электронно-лучевой трубки при полете самолета над местностью, изображение которой надо получить. На рис. 2 изображен сигнал, сформированный окончательно на выходе оптической части устройства, на вход которого подан сигнал, показанный на рис. 1.



**Рис. 1.** Такое изображение дает радио      **Рис. 2.** Так оптика преобразует рис. 1

Для чего в данном случае потребовалось сочетать оптику и радио? Таких причин две, из которых обе существенны. Во-первых, радиооптика использует волны радиодиапазона, для которых облачность, способная создать помеху для обычной аэрофотосъемки, такой помехи не представляет. Во-вторых, для получения изображения используются активные радиолокационные методы. Объект, подсвечиваемый излучением радиолокатора, хорошо виден как днем, так и ночью.

Есть и совсем иная сторона дела, пожалуй, не менее важная для практики. Работу радиооптического комплекса получения изображений можно описать как на том языке, которым пользуются радиоинженеры, так и на языке, принятом в оптике. И то, и другое описания

приведены в [1]. Пример радиотехнического описания классической оптической схемы, показанной на рис. 3, приведен на рис. 4. На рис. 5 и 6 приведены такие же описания в виде функциональных

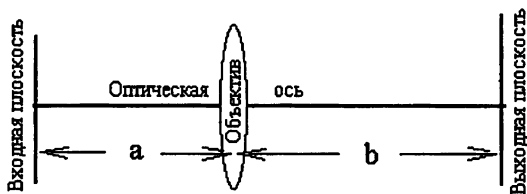


Рис. 3. Схема оптической системы

схем (или блок-схем) для чисто радиотехнического устройства — направленной антенны, сканируемой по углу. На рис. 7 приведена схема так называемой синтезируемой или фокусируемой антенны. В этих схемах много общего, что позволяет глубже понять работу и особенности таких устройств, как фильтры для сигналов, антенны и оптические объективы. Та область радиофизики, которая оперирует всеми этими понятиями, схемами, включая разнообразные количественные соотношения и ограничения, выражаемые в виде формул, и есть радиооптика. Радиооптика представляет собой новый, необычайно эффективный способ формирования изображений волновыми полями [1].

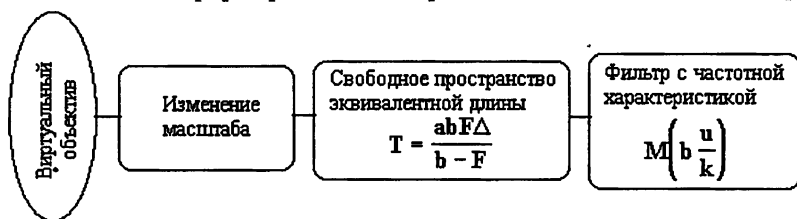


Рис. 4. Функциональная схема преобразования полей в реальной оптической системе

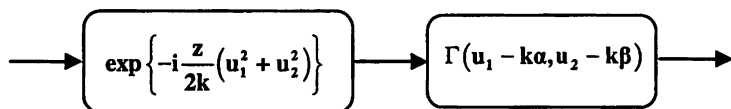


Рис. 5. Общая функциональная схема антенны [1]

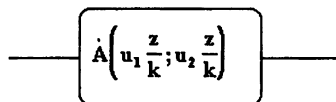


Рис. 6. Функциональная схема антенны в дальнем поле [1]

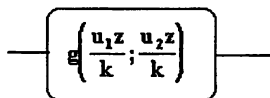


Рис. 7. Функциональная схема фокусируемой антенны [1]

В становлении этого нового научного направления в нашей стране и непосредственно при разработке способов формирования изображений использованием и радио, и оптики заметную роль сыграла кафедра физики радиофизического факультета Горьковского университета. Ниже идет речь о том, как это произошло, что конкретно было сделано силами кафедры для рождения нового направления формирования сигналов.

При формировании научной тематики отдела НИРФИ, которым я руководил, был учтен опыт работы с радиооптической системой, применявшейся для измерения акустических волн. В качестве таковой была взята разработка оптических методов измерения спектров и корреляционных функций случайных колебаний и волн. Такие измерения имели практическую основу в виде накопленного опыта работы с оптическим приемником акустических модулированных волн.

В результате были созданы такие радиооптические системы, как оптические анализаторы спектра и коррелометры, не имевшие аналогов в мире [13, 15, 16]. В то время в коллективе НИРФИ было принято широко обсуждать полученные результаты, поэтому о нашем увлечении оптикой и достигнутых результатах знали многие научные сотрудники института. Благодаря Михаилу Адольфовичу Миллеру о наших успехах в занятиях оптикой узнал ведущий специалист по антенной технике Л. Д. Бахрах, работавший в Москве в головном институте, который занимался разработкой радиолокаторов для авиации.

### **Синтез апертуры**

В то время в области авиационной антенной техники готовился и совершался грандиозный переворот. Создавались радиолокационные станции, имеющие антенны с синтезируемой апертурой. В США эти работы велись секретно. Ничего не публиковалось. Каким-то образом наши ведущие специалисты все же знали, что американцам удалось путем синтезирования апертуры существенно повысить качество изображений, получаемых с помощью самолетных радиолокаторов бокового обзора. Качество изображений приблизилось к тому, что могла дать аэрофотосъемка. Однако аэрофотосъемка способна дать изображение местности только в отсутствие облачности и только днем, а радиолокатору бокового обзора не мешает никакая облачность, ему не нужен дневной свет, а вдобавок ему даже не надо пролетать над тем местом, изображение которого надо получить, а достаточно лететь сбоку на солидном удалении от просматриваемой местности.

Пользуясь отрывочными сведениями и слухами, отечественные специалисты тоже приступили к разработке радиолокатора бокового

обзора с синтезируемой апертурой. В науке, как доказывал еще Н. Винер, секреты неожиданно легко раскрываются. Строго охраняемые тайны могут быть раскрыты чисто научными методами. Секретом может являться сама возможность что-то осуществить, что как раз не принято скрывать. Наши специалисты в области фундаментальной науки хорошо понимали, какая нужна математическая обработка сигнала, принятого антенной, чтобы осуществить требуемый синтез апертуры.

Вопрос заключался в том, как практически осуществить такую математическую обработку радиосигнала, принимаемого антенной. Эти специалисты предпочитали и считали более перспективной электронную обработку сигнала антенны и взялись за это сами. Американцы, по слухам, использовали не электронную обработку сигнала, а оптическую. Специалисты по антенной технике не верили в возможности оптической обработки сигнала, да и опыта такой обработки они не имели, поэтому предпочли дать возможность исследовать эту область другим организациям. В их числе оказался и Горьковский университет. В то время я заведовал кафедрой физики радиофизического факультета Горьковского университета — кафедрой, основанной Г. С. Гореликом, увлекавшимся оптикой. Об увлечении Г. С. Горелика оптикой было известно москвичам. Они также были наслышаны от М. А. Миллера о моем увлечении оптической обработкой сигналов. Этого было достаточно, чтобы наш университет получил задание на разработку оптического варианта обработки сигналов в антенне с целью осуществления синтеза апертуры.

В то время возглавляемый мной отдел НИРФИ был полностью занят применением оптических методов обработки информации в других областях — в акустике и в радиолокации. Работу по применению оптических методов обработки информации для синтеза апертуры могла вести лишь кафедра физики. Специалисты этой кафедры взялись за эту работу с огромным энтузиазмом. Особенно выделялась в этом отношении Александра Григорьевна Любина. Она делала эту работу — как и многое другое — с невероятной тщательностью, быстро и энергично. В результате москвичи были ошарашены теми успехами, которые были достигнуты коллективом кафедры физики университета. Была создана действующая установка, позволяющая в точности осуществлять требуемую обработку сигнала. Она вполне могла быть частью радиолокатора бокового обзора с синтезируемой апертурой. Убедившись в этом, москвичи эту установку со всеми приборами погрузили на грузовик и отвезли к себе в институт, где она стала первоначальной основой будущей промышленной разработки.

Спустя несколько лет американцы опубликовали полученные ими результаты [27]. Оказалось, что на кафедре была создана установка для обработки сигналов, очень похожая на ту, которая была создана американцами. Кое-что было у нас сделано иначе, но принципиальной разницы не оказалось никакой. Например, американцами был применен принципиально новый элемент — это оптическая линза специальной конической формы. Нам даже не пришло в голову осуществлять столь технически сложный элемент. Мы поступили иначе — изогнули специальным образом желоб, в котором помещалась фотопленка. В результате удалось с помощью обычных оптических элементов сделать то же самое, чего американцы добились благодаря конической линзе.

### **Исследования коллектива кафедры**

Отметим нескольких сотрудников кафедры, внесших существенный вклад в становление радиооптики. В первую очередь это уже упоминавшаяся выше Александра Григорьевна Любина, роль которой переоценить невозможно. Она обладала редким сочетанием человеческих качеств, необходимых для серьезной научной работы, осуществляемой не отдельным лицом, а целым коллективом сотрудников. Чтобы успешно осуществлять эту работу, надо быть требовательным и справедливым к людям, знать возможности каждого и использовать их лучшим образом, увлекать людей своим личным примером бескорыстного самоотверженного творчества. Если бы не эти выдающиеся качества Александры Григорьевны, проявившиеся в полной мере именно на этой работе, то это направление не смогло бы утвердиться на кафедре.

Большую роль сыграла Ф. А. Маркус, воплощавшая в жизнь идеи А. Г. Любиной. И. Я. Брусин рассчитывал и тщательно отлаживал оптические установки. Он замечал многие тонкости работы этих схем, о которых не подозревали еще теоретики кафедры (Любина и Маркус) Непосредственно синтезом апертуры занимался А. В. Шишарин, создавший ряд оригинальных установок.

Велика роль заведующего кафедрой с 1962 года профессора Николая Сергеевича Степанова. Он уделял большое внимание развитию направления радиооптики на кафедре, эффективно укрепляя его талантливыми молодыми людьми. Целая плеяда ближайших учеников и сотрудников Николая Сергеевича развила и поддержала его усилия на кафедре, разработав соответствующие учебные теоретические и практические курсы для обучения студентов.

Благодаря этому кафедра долгое время была впереди всех организаций, в которых велись исследования по оптической обработке сигналов, по многим вопросам, связанным с оптической обработкой сигналов радиолокаторов с синтезируемой апертурой. Особенно наглядно и ярко это проявлялось в ряде специальных исследований, требовавших не только глубокого понимания физики работы устройств синтеза апертуры, но и невероятной тщательности исполнения тонких оптических устройств. Оптические устройства требовалось настраивать, юстировать и проверять. Для этой цели надо было разрабатывать специальные методы и изготавливать соответствующие устройства. С этой работой коллектив кафедры справлялся настолько блестяще, что сохранял в ней лидерство в течение очень долгого времени. Особенно проявил себя в этой области Александр Владимирович Шишарин.

Эта деятельность способствовала научному росту коллектива кафедры, многие члены которой публиковали свои научные работы в этой области, а такие сотрудники, как А. В. Шишарин, А. М. Черемухин, Т. Н. Кособурд, Э. И. Гельфер, В. Н. Славинская, Г. И. Гильман и другие, защитили кандидатские диссертации по оптическим методам обработки информации. Кафедра приобрела современное оптическое оборудование, обзавелась уникальными оптическими установками. Метод синтеза апертуры был использован для постановки оригинальной исследовательской лабораторной работы для студентов, специализирующихся на кафедре [28].

К настоящему времени с помощью методов и аппаратуры, развитой и созданной в процессе становления радиооптики, кафедрой успешно решены задачи, поставленные промышленностью. Выполнен контроль механических напряжений в авиационном шасси, формы железнодорожных колес на ходу поезда и многое другое — остроумное, простое и уникальное, находящееся в арсенале радиооптики.

## Литература

1. *Зверев В. А.* Модуляционный метод измерения дисперсии ультразвука // ДАН СССР. 1953. Т. 91, № 4. 791 с.
2. *Зверев В. А.* Об одном методе измерения дисперсии ультразвука // Памяти Александра Александровича Андропова. Сб. науч. работ. М.: Изд-во АН СССР, 1955. С. 657—680.
3. *Зверев В. А.* Модуляционный метод измерения дисперсии ультразвука // Акуст. журн. 1956. Т. 2, вып. 2. С. 142—145.
4. *Зверев В. А., Боков В. М., Лурье И. Е.* Емкостный анализатор звукового поля // Акуст. журн. 1955. Т. 1, № 3.
5. *Горелик А. Г., Зверев В. А.* К вопросу о взаимодействии акустических волн // Акуст. журн. 1955. Т. 1, № 4. С. 339—342.

6. *Михайлов Г. Д.* О взаимодействии ультразвуковых волн в жидкостях // ДАН СССР. 1953. Т. 89, № 4. 663 с.
7. *Ingard U., Pridmore-Brown D. C.* Scattering of sound by sound // J. Acoust. Soc. Am. 1956. V. 28, № 3. P. 367—369.
8. *Westervelt P. J.* Scattering of sound by sound // J. Acoust. Soc. Am. 1957. V. 29, № 2. P. 199—203.
9. *Westervelt P. J.* Scattering of sound by sound // J. Acoust. Soc. Am. 1957. V. 29, № 8. P. 934—935.
10. *Зверев В. А., Калачев А. И.* Измерение взаимодействия звуковых волн // Акуст. журн. 1958. Т. 4, № 4. С. 321 — 324.
11. *Зверев В. А.* Дисперсионные свойства сред, содержащих случайные неоднородности // Изв. вузов. Радиофизика. 1960. № 3. P. 723 — 724.
12. *Зверев В. А.* Рассеяние модулированных волн на случайных неоднородностях // Изв. вузов. Радиофизика. 1960. 904 с.
13. *Зверев В. А., Орлов Е. Ф.* Прибор для измерения спектров и корреляционных функций // ПТЭ. 1960. № 1.
14. *Зверев В. А., Жестяников Л. А.* Модуляционный метод измерения пространственного спектра случайных неоднородностей // Акустический институт. Труды института, 1967, № 2. С. 22—25.
15. *Зверев В. А., Орлов Е. Ф., Сибиряков В. Г., Мосалов И. В.* Прибор для спектрального анализа // ПТЭ. 1961. № 1.
16. *Зверев В. А., Орлов Е. Ф.* Оптические анализаторы. М.: Советское радио, 1971.
17. *Зверев В. А., Калачев А. И.* Устройство для приема инфразвуковых колебаний. А. с. № 422197 по заявке № 710535 с приоритетом от 31 марта 1961 г.
18. *Westervelt P. J.* Parametric acoustic array // J. Acoust. Soc. Am. 1963. V. 35, № 4. P. 535—537.
19. *Zverev V. A., Kalachev A. I.* Scattering of sound by sound when two sound beams intersect one another // 6-й международный симпозиум по нелинейной акустике: Сб. тр. М.: Изд-во МГУ, 1976. Т. 1. С. 330—341.
20. *Зверев В. А., Калачев А. И.* Измерение рассеяния звука звуком при наложении параллельных пучков // Акуст. журн. 1968. Т. 14, № 2. P. 214—220.
21. *Зверев В. А., Калачев А. И.* Излучение звука из области пересечения двух звуковых пучков // Акуст. журн. 1969. Т. 15, № 3. P. 369—376.
22. *Зверев В. А., Калачев А. И.* Модуляция звука звуком при пересечении акустических пучков // Акуст. журн. 1970. Т. 16, № 2. С. 245—251.
23. *Сисюв Н. Б., Зверев В. А., Калачев А. И., Наугольных К. А.* О низкочастотном параметрическом излучении звука // Акуст. журн. 1976. Т. 22, № 4. С. 606—608.
24. *Донской Д. М., Зверев В. А., Калачев А. И.* Параметрическая селекция лучей в неоднородных средах // Акуст. журн. 1983. Т. 29, № 2. С. 181—186.
25. *Зверев В. А., Донской Д. М., Сутин А. М.* Параметрическое взаимодействие акустических сигналов в плоском волноводе // ДАН СССР. Т. 289, № 5. С. 1111—1115.
26. *Зверев В. А.* Физические основы формирования изображений волновыми полями. Н. Новгород: ИПФ РАН, 1998. 252 с.
27. *Leith E. N.* Quasi-Holographic Techniques in the Microwave Region // Proc. IEEE. 1971. V. 59, № 9. P. 1305.
28. Экспериментальная радиооптика / Под ред. В. А. Зверева и Н. С. Степанова. М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. лит., 1979.



## **К ИСТОРИИ СТАНОВЛЕНИЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАДИОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ<sup>1</sup>**

В те времена, о которых пойдет речь, считалось, что наиболее разумный и эффективный способ взаимодействия физики и техники с медициной заключается в использовании каких-либо существенных результатов, полученных в ходе основной деятельности физического или технического института. Если результат оказывался применимым в области медицины, то, как правило, такую возможность старались не упустить. С помощью приглашенных медиков разворачивались работы по исследованию новых возможностей, открывающихся перед медициной, благодаря использованию выдающегося технического достижения. Например, таким путем в Научно-исследовательском радиофизическом институте (НИРФИ) были развернуты измерения глубинной температуры тела человека с помощью уникальных высокочувствительных радиометров, разработанных для решения задач радиоастрономии. Другим примером такого рода является создание в Институте радиотехники и электроники (ИРЭ) особо чистой беспылевой операционной для проведения сложных хирургических операций, требующих особой стерильности. Такая операционная создавалась на основе развития и совершенствования технических средств, обеспечивавших работы по микроэлектронике. Подобных примеров много.

Мы собираемся рассказать об ином пути развития исследований медицинского и биологического профилей, которым пошел НИРФИ. Начало исследований, о которых пойдет речь ниже, скорее всего, ничего не сулило. Однако потом, благодаря идеям и энтузиазму различных людей, а также умелой организации и координации работ, осуществленных М. Т. Греховой, эти исследования доросли до такого уровня, что позволили получить важные результаты не только в медицине и биологии, но и в физике. Авторы хотели бы показать не только то, что было достигнуто, но и то, как это произошло.

Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ), о котором пойдет речь, был создан в 1956 г. Первоначально в его тематику ни медицинские исследования, ни биологические не входили. В основном она была посвящена исследованиям в области электроники, распространения волн и радиоастрономии. Одной из проблем этой области была задача создания высокостабильных гене-

---

<sup>1</sup> Очерк написан совместно с Ниной Михайловной Анишкиной.

раторов. Ее исследованиям с теоретических позиций были посвящены труды В. С. Троицкого, А. Н. Малахова [1], а с позиций практики она решалась в работах И. Л. Берштейна и других сотрудников института.

В числе последних был и один из авторов этой статьи — В. А. Зверев. Его подход к проблеме исследования стабильности генераторов основывался на возможности измерять спектры и корреляционные функции процессов, протекающих во времени, с помощью специально разработанных анализаторов спектра и корреляционных функций оптических полей [2, 3]. Устройства, использовавшиеся для предварительного преобразования исследуемых сигналов в оптические поля [2, 3], позволяли при исследованиях практически неограниченно спускаться вниз по частоте. Именно эта особенность оптических анализаторов была использована В. А. Зверевым и его сотрудниками Е. Ф. Орловым, И. К. Спиридоновой, В. В. Семеновым для измерения стабильности частоты высокостабильных генераторов в такой области, в которой она до сих пор не была исследована [2, 4]. Это была область весьма низких частот или так называемых технических уходов частоты, и теоретически было известно [1], что стабильность генераторов определялась именно этими техническими уходами. С помощью разработанного метода, основанного на использовании оптических анализаторов спектра, удалось определять уходы частоты и их форму у самых стабильных эталонных генераторов.

Из чистейшего любопытства, подкрепленного уникальными для того времени техническими возможностями, было решено попробовать исследовать стабильность такого генератора, как человеческое сердце. Никаких идей относительно возможной пользы этих исследований для медицины у авторов не было. Сотрудники НИРФИ обратились за содействием на кафедру госпитальной терапии Горьковского медицинского института к знакомым медикам-исследователям — А. П. Матусовой, К. В. Зверевой, М. В. Введенской. Медики сначала не очень хорошо поняли, что хотят от них физики и что может им дать исследование стабильности сердца как генератора, так как подобных работ нигде в литературе не было, и такая тема среди медиков не обсуждалась. Однако врачи усмотрели в стремлении физиков что-то исследовать некую для себя возможную пользу.

В кардиологию к этому моменту был внедрен и широко использовался новый метод диагностики функционального состояния человеческого сердца — баллистокардиография (БКГ). В ходе этого исследования регистрировались движения тела человека, лежащего на упругом основании, под действием циркулирующего внутри него кро-

вотока, вызываемого выбросами крови из сердца, происходящими в результате резкого сокращения сердечной мышцы. Несмотря на весьма длительные 25-летние исследования, проведенные американским врачом Старром [5], и накопленный опыт, метод не давал нашим медикам полезной информации. Попытки медиков самостоятельно накопить необходимый опыт тоже не привели к успеху. В интересующих наших медиков случаях, когда патология сердца была ярко выражена, вид БКГ настолько отличался от нормы, что это отличие не поддавалось простой количественной оценке. Медики надеялись, что физики им в этом помогут.

Физиков в первую очередь интересовало, насколько стабильно работает сердце. Это можно было установить, не расшифровывая структуру БКГ. Они несколько не сомневались в этом. Им казалось аксиомой, что интересующую их стабильность колебаний сердца можно установить не только по БКГ, но и по электрокардиограмме, и по любой иной записи пульса. Они ожидали, что нормальное хорошее сердце является и хорошим генератором, а хороший генератор должен быть высокостабильным.

Того, что получилось на самом деле, не ожидали ни физики, ни медики. Оказалось, что хорошее здоровое сердце представляет собой нестабильный генератор. В его спектре отчетливо видна только первая гармоника, а высшие гармоники сливаются в сплошной спектр. Генераторов с такой странной нестабильностью в технике не встречалось. Больное же сердце часто представляет собой достаточно стабильный генератор, в спектре которого отчетливо видны высшие гармоники. Были обследованы тысячи больных и практически здоровых людей, в основном студентов мединститута, но никакого исключения из правила, что чем сердце хуже, тем оно представляет более стабильный генератор, не было. При этом нестабильность здорового сердца проявлялась только при анализе БКГ. В спектре электрокардиограммы как здорового, так и больного сердца были четко видны высшие гармоники, не сливающиеся в сплошной спектр.

Для объяснения такого парадоксального факта была высказана гипотеза о том, что сердце здорового человека должно быть готово к изменениям физической нагрузки, а больное сердце этого не может и вынуждено использовать резонанс для максимального облегчения своей деятельности. Использование резонанса требует стабильности, а уход от возможного резонанса требует нестабильной механической активности. Эти результаты были опубликованы в медицинских журналах [6, 7]. Результаты исследований заинтересовали директора института профессора М. Т. Грехову. О ней следует сказать особо, так как во всей этой истории она играла наиболее значительную роль.

М. Т. Грехова была организатором института, и за все время работы в нем (более 30 лет) живо интересовалась наиболее значимыми исследованиями и активно способствовала их развитию и внедрению в жизнь. Этим она развивала институт, ведя его от одного научного успеха к следующему, который мог принадлежать совершенно иному направлению науки. Сама М. Т. Грехова была специалистом по сверхвысокочастотной электронике, но достаточно свободно разбиралась в физике любого исследования, проводимого в институте, отличающемся необычайным разнообразием тематики своих работ. Например, многие радиоинженеры и военные специалисты интересовались предложенным В. А. Зверевым методом обработки сигналов с помощью оптических приборов [8], позволявшим существенно повысить помехоустойчивость ряда радиолокационных станций. Для понимания метода каждому из них требовалось различное количество времени на ознакомление и на беседу с автором. М. Т. Греховой (М. Т.), для того чтобы разобраться в существе предлагаемого метода, понадобилось не более 5 минут. Это был абсолютный рекорд. После этого началось активное внедрение метода (в том числе и в медицину).

В случае с БКГ была аналогичная ситуация. М. Т. быстро почувствовала и оценила возможное значение метода. По ее настоянию В. А. Зверев и К. В. Зверева отправились в Академию наук СССР к академику-секретарю отделения физиологии В. В. Парину, с которым М. Т. предварительно договорилась. Академик связал их со своим учеником и ближайшим помощником — профессором Р. М. Баевским. В результате этого контакта В. А. Зверев совместно с К. В. Зверевой написали новую главу «Спектральная баллистокардиография» для издающейся в Болгарии книги Р. М. Баевского и А. А. Талакова «Баллистокардиография» [9]. Профессор Р. М. Баевский работал в Институте медико-биологических проблем (ИМБП), тесно связанном с проблемами космической медицины. В итоге полученные при исследовании БКГ результаты были с успехом применены в космической медицине. Оказалось, что особенности спектра БКГ могут играть существенную роль при оценке состояния сердечно-сосудистой системы космонавтов в условиях космического полета.

М. Т. связала нас не только с Академией наук, где состоялся специальный доклад сотрудников института, посвященный в том числе и медицинской тематике [10], но и с министерством здравоохранения. В то время министром здравоохранения был известный хирург академик Б. В. Петровский, являвшийся директором Всесоюзного научно-исследовательского института клинической и экспериментальной хирургии (ВНИИКиЭХ) в Москве, который после выделения из него Института трансплантологии стал называться Всесоюзным науч-

ным центром хирургии (ВНЦХ АМН СССР). ВНЦХ по договоренности между министром и М. Т. Греховой выполнил ряд исследований по БКГ, давших интересные и важные результаты. Эти результаты относились, главным образом, к прогнозированию резерва сердечно-сосудистой системы. В частности, оказалось, что для таких областей спорта (велоспорт), где деятельность сердечно-сосудистой системы является определяющим фактором, характеристики спектра БКГ целесообразно учитывать при отборе спортсменов, от которых можно ожидать особо выдающихся достижений. В этой работе приняли участие Ю. В. Белецкий (ВЦНХ) и В. А. Антонец (НИРФИ).

Сейчас видно, что главным в развитии медицинской тематики в институте были все же не достигнутые фактические успехи, хотя без них все бы тут же остановилось, а появление и постановка таких медицинских проблем, которые физики понимали и над которыми они могли самостоятельно работать. Одна такая проблема возникла сразу же, как только мы приступили к анализу БКГ. Как уже упоминалось выше, медики дали нам исследовать именно БКГ, так как у них с ней ничего не получалось. Здесь стоит пояснить роль и значение БКГ в медицине. Доктор Старр ввел в медицинскую практику эту функциональную характеристику сердца, опираясь на свои многолетние исследования, доказавшие перспективность метода. Наши медики не могли воспользоваться этими результатами. Возникла проблема, в которой надо было разобраться. Эта проблема, как оказалось, имела две стороны: как физическую, так и медицинскую. Физическая сторона проблемы состояла в том, что форма отдельных «зубцов» БКГ не могла повторять форму исходного механического процесса, происходящего в сердце и в системе кровообращения. Каждый реально наблюдаемый отдельный период БКГ, или ее «зубец» (по терминологии медиков), является результатом отклика колебательной системы на входное механическое воздействие. Колебательная система, в которой массой является тело человека, а упругостью — упругость его тканей, обладает достаточно высокой добротностью, позволяющей полностью маскировать форму начального возмущения. Медицинская сторона проблемы была связана с тем, что у Старра и наших врачей были существенно разные категории обследуемых людей. У здоровых людей форма начального возмущения настолько одинакова, что рисунок БКГ можно расчленить на отдельные части, которые можно друг с другом сопоставить. Этим и занимался доктор Старр, исследуя изменения формы БКГ у различных людей в течение 25 лет. Он обнаружил, что изменения БКГ видны намного раньше того времени, когда изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы начинают быть заметными с помощью иных средств. Доказав это, доктор Старр

ввел БКГ в медицинскую практику. Одно время БКГ использовали даже страховые компании. У наших врачей был совсем иной контингент больных. Это были люди с явными нарушениями деятельности сердечно-сосудистой системы. Задачей наших врачей было определить целесообразность и необходимость хирургических операций на сердце, чем занималась в то время клиника академика Б. А. Королева. Наши врачи сотрудничали с этой клиникой. Они хорошо понимали, что опыт доктора Старра им не подходит, стремились к тому, чтобы накопить свой опыт, пользуясь сотрудничеством с кардиохирургами. Однако их ставила в полнейший тупик полная невозможность сопоставления «зубцов» БКГ у здоровых людей и у больных с различными пороками сердца.

Физическое объяснение сложности работы с рисунком БКГ у больных людей помогло найти выход из этого положения. БКГ является уникальной характеристикой деятельности сердечно-сосудистой системы, так как позволяет, в отличие от всех иных показателей, судить непосредственно о главной стороне деятельности сердца — способности проталкивать кровь через систему сосудов. Требовалось найти такой показатель БКГ, который бы, в отличие от «зубцов», имел ясный физический смысл. И физики нашли такой показатель. Им явилась сила, с которой совершается начальный толчок, приводящий в действие как кровь внутри сосудов, так и датчик, измеряющий БКГ. Измерить эту силу помог тот же спектральный анализ БКГ. С его помощью удалось выделить в спектре БКГ отклик на специально введенное внешнее гармоническое силовое воздействие [11, 12]. С помощью такого дополнительного сигнала удалось определить частотную характеристику того механического фильтра, через который проходит наблюдаемый сигнал БКГ, и измерить силу, с которой происходит начальный толчок.

Экспериментальную часть этой работы выполнил В. А. Антонец, заканчивавший в то время радиофизический факультет Нижегородского государственного университета. С этого момента начинается новый и очень существенный этап становления медицинской тематики в радиофизическом институте. К этой тематике начали подключаться молодые, невероятно энергичные люди, которые должны были заниматься ею постоянно и профессионально. Роль этого этапа трудно переоценить. В самом деле, если у новых хозяев новой тематики дело пойдет успешно, то тематика будет жить и развиваться, а в ином случае она немедленно захиреет.

На этом решающем этапе важнейшую роль сыграла М. Т. Грехова. Во-первых, она его полностью организовала, создав специальный отдел, названный ею «Отдел радиофизических методов в медицине».



**Отдел радиофизических методов в медицине. 1983 год**

Основу нового отдела составили уже упомянутый В. А. Антонец, И. И. Шмелев, чрезвычайно талантливый инженер, выполнивший к этому моменту ряд интересных оригинальных разработок по акустике, Н. М. Анишкина, которая занималась в то время исследованиями и испытаниями оптической аппаратуры, обрабатывающей радиолокационные сигналы. В отдел принимались новые молодые талантливые радиофизики, специальностью и профессией которых отныне становилась медицинская и биологическая радиофизика: А. Д. Мансфельд, А. Г. Санин, В. Г. Яхно, А. М. Рейман. Во-вторых, М. Т. Грехова не дала ни малейшей возможности сотрудникам нового отдела замкнуться в узких провинциальных рамках. Она наладила широкие связи наших физиков, занимающихся медициной, с другими аналогичными центрами в стране и в городе. Эта деятельность привела к тому, что в НИРФИ по поручению министра здравоохранения В. В. Петровского приехал профессор В. В. Зарецкий для ознакомления с медицинскими работами. Смотреть ему было на что. Выше уже упоминалась работа, в которой оптические приборы применялись для обработки сигналов радиолокационных станций. К моменту приезда В. В. Зарецкого эти исследования были ориентированы на медицину. Вместо радио-

локатора использовался изготовленный И. И. Шмелевым ультразвуковой локатор, а объектом локации было человеческое сердце. Данные локации представлялись в координатах «скорость — дальность». В то время таких ультразвуковых приборов (типа современных УЗИ) еще не было. В. В. Зарецкий видел все это впервые и был удивлен и обрадован увиденным. На основании его доклада Б. В. Петровский поддержал в Комитете по науке и технике серьезное поручение институту. Оно касалось разработки первого отечественного ультразвукового кардиографа, но без доплеровского канала, так как такой прибор, по мнению министра, быстрее будет освоен в производстве и обойдется дешевле, не уступая при этом ни в чем самым дорогим, современным в то время, зарубежным приборам. Институт получил первую крупную работу, в процессе которой устанавливались связи с промышленностью, а молодые сотрудники могли расти и учиться.

Особенностью прикладной медицинской направленности исследований является потребность постоянного общения физиков и медиков между собой. Понимая важность и необходимость такого общения, М. Т. Грехова в октябре 1973 г. организовала специальный общегородской ежемесячный семинар физиков и медиков, который очень быстро перерос рамки городского. Семинар проводил свои заседания раз в месяц. На нем выступали как физики, так и медики со всей нашей необъятной страны. За 25 лет работы семинара проведено 222 заседания. К сожалению, по ряду объективных и субъективных причин с ноября 1998 г. семинар не работает.

Большую роль в становлении тематики института и вновь образованного отдела сыграли областные выставки аппаратуры, изготавливаемой и разрабатываемой радиоэлектронными предприятиями города Горького и области. Огромная заслуга в подготовке и проведении этих выставок принадлежит М. Т. Греховой и ее заместителю И. И. Шмелеву. На каждой из трех проведенных выставок («Медтехника-76», «Медтехника-79», «Медтехника-82») работали семинары по тематике, связанной непосредственно с экспонируемыми устройствами и разработанными методиками.

Важным этапом становления исследований следует считать появление, кроме физических исследований, для решения задач медицины еще и биологических исследований, направленных на решение физических задач. Типичным примером таких задач являются проблемы, решаемые В. Г. Яхно с сотрудниками. Имеется в виду следующее. Анализ свойств и взаимодействия нервных клеток дал возможность сформулировать новые принципы обработки информации. Появляется возможность как бы образного представления информации и процесса ее обработки и хранения. Это позволяет не только существенно



ускорять традиционные вычисления, но и решать принципиально новые задачи в области распознавания образов. Естественно, что такое расширение возможностей представления и обработки информации нужно и для решения проблем медицины. О существенном вкладе этих медико-биологических исследований в радиофизику свидетельствует то, что хотя сотрудники и специализировались на стыке наук по медико-биологической тематике, свои кандидатскую (И. В. Нуйдель) и докторскую (В. Г. Яхно [13]) диссертации они блестяще защитили по тематике, связанной с физическими исследованиями.

Однако новый отдел образовался, не располагая достаточными физическим и техническим заделами. Существенно новым в организации исследований медико-биологического направления в физическом институте стало то, что научный и технический заделы создавались специально для решения комплекса медицинских задач. Инициативу решения этой задачи взял на себя В. А. Антонец. При спектральном анализе записей различных медицинских кривых он обратил внимание на то, что многие из них сделаны некачественно. Они не удовлетворяют и не могут удовлетворить физиков в силу целого ряда причин. Анализ этих причин послужил толчком для создания современного научного и технического заделов в области измерения ускорений и смещений.

Для медицинских исследований в то время использовалось много разнообразных датчиков-преобразователей и микрофонов. Они имели различные технические характеристики, изготавливались разными предприятиями и зарубежными фирмами и, порой, были недоступны для широкого применения из-за их высокой стоимости и медицинской бедности. Это приводило к трудностям при унификации аппаратуры и при сравнении результатов работ различных исследователей. Не говоря уж о еще более острых, чем в БКГ, проблемах зависимости метрологических характеристик регистрационного тракта от физических свойств тканей тела.

Вот как начинались и шли исследования, направленные на создание медицинского научного задела. Особенностью этих работ являлось то, что они возникли непосредственно из потребностей практики применения физики к решению задач медицины.

В 1973 г. вновь образованный отдел начал работы по регистрации и анализу фонокардиограмм у детей. Исследования проводились в Детской областной больнице — клинической базе кафедры факультетской и поликлинической педиатрии Горьковского медицинского института (зав. кафедрой — профессор Е. А. Ефимова). Со стороны медиков в работе участвовали к. м. н. Т. К. Шокурова, молодой биолог Н. В. Горячева и студент педиатрического факультета Горьковско-

го медицинского института С. Л. Нестеров, со стороны НИРФИ — Н. М. Анишкина. Первая трудность, с которой столкнулись исследователи, состояла в том, что необходимо было исследовать группу недоношенных детей грудного возраста, а габариты серийного фонокардиографического микрофона оказались сопоставимы с размерами тела пациентов. Было очевидно, что пользоваться стандартным ФКГ-микрофоном — некорректно. К тому времени в отделе, по предложению и при научной консультации И. И. Шмелева, В. А. Антонцом был сконструирован и с помощью механиков изготовлен первый пьезокерамический изгибный датчик ускорений. Работал он неплохо, но припаянная пьезокерамика часто отслаивалась от металлической подложки, и датчик выходил из строя. В экспериментально-производственных мастерских НИРФИ смогли сделать более долговечные датчики, но прошло еще много времени, прежде чем было построено целое семейство удачных, надежных акселерометров, нашедших широкое применение для задач медицинской и технической диагностики. Не всем в институте нравилось такое упорство и такие большие затраты сил. Одни ревниво считали это вмешательством не в свои дела, а другие — пустой тратой времени на «железяки» вместо высокой науки. Как бы то ни было, согласно распоряжению Академии наук № 005 от 9.01.79 г. по решению Минздрава СССР от 16.06.76 г. отделом была выполнена НИР «Разработка пьезокерамического датчика для регистрации механических проявлений деятельности сердечно-сосудистой системы человека в диапазоне частот 0,3—1000 Гц (шифр «Пульс», руководитель Н. М. Анишкина). В результате НИР были разработаны датчик «Пульс», технология его изготовления (Г. Б. Елисеев, В. Н. Лапханов, Л. В. Николаев, П. С. Фитасов), конструкторская документация (А. В. Бычков, Н. Н. Голованова, Б. А. Красильников, В. П. Хрулев), выпущена опытная партия (П. С. Докторов, С. В. Черногоубов, Н. М. Анишкина, В. А. Антонец) и проведена медицинская апробация в ряде горьковских и московских клиник и НИИ [14, 15].

На этой работа не остановилась. Н. М. Анишкиной, В. А. Антонцом, П. С. Докторовым, А. В. Бычковым и В. П. Хрулевым был разработан набор деталей, из которых можно было собирать различные модификации датчиков. В итоге, после отсева комбинаций, по разным причинам не имевших практических перспектив, набралось 40 типов акселерометров. Семейство назвали ПАМТ — пьезоакселерометры для медицинской и технической диагностики. М. Т. Грехова поддерживала эту работу на всех ее этапах. Технология производства ПАМТ была освоена на горьковском опытном заводе «Эталон», кото-

рый выпустил несколько тысяч датчиков, нашедших применение в медицинской (клиническая, космическая и спортивная медицина) и технической (самолеты, подводные лодки, станки и т. п.) диагностике. Много научных работ Института прикладной физики РАН, основные кадры которого составили выходцы из НИРФИ (в их числе и авторы этой статьи), проведено и до сих пор проводится с использованием вибропреобразователей ПАМТ.

Для медицинских задач (*или: в медицине*) в основном применялся преобразователь ПАМТ-1БК. Датчик пользовался большим успехом и очень нравился медикам. Профессор Р. М. Баевский демонстрировал возможности датчика ПАМТ следующим способом. Он стоял перед осциллографом, положив датчик себе на плечо. ПАМТ был безо всякого усилителя присоединен к входу осциллоскопа. При этом на экране уверенно наблюдалась кривая БКГ самого Р. М. Баевского. На первой выставке горьковской медицинской техники «Медтехника-76» академик Б. А. Королев с огромным удовольствием демонстрировал работу датчика. Он приглашал первого попавшегося на глаза молодого мужчину, ставил датчик на область его сердца, записывал на серийный электрокардиограф сердечные биения. Затем заставлял несколько раз отжаться от пола и снова записывал биения. После чего выносил свой вердикт.

Благодаря активности Р. М. Баевского первый из разработанных акселерометров — ПАМТ-1 — был использован для исследований БКГ космонавтов на космических станциях. Вначале считалось, что к этому не только нет каких-либо препятствий, но и что эта задача куда проще той, которая решается в земных условиях. Ведь на Земле есть сила тяжести, и человек контактирует с опорной поверхностью, что, собственно, и приводит к сужению частотной полосы и искажению рисунка регистрируемой БКГ. В орбитальном полете космонавт свободно «парит» в пространстве, ни на что не опираясь. В этих условиях можно зарегистрировать чистейшую БКГ, не осложненную влиянием опоры. Однако на практике это получилось так сложно, что едва не сорвалось совсем. Регистрировать БКГ полагалось сначала на тренировке, проходящей на специально оборудованном самолете — это, как объяснили летчики, был ТУ-104 с усиленными крыльями от ТУ-114. Самолет в течение 30—40 секунд пикирует по специальной траектории, имитируя свободное падение. В это время испытатель (люди, проводившие испытания, — не космонавты, хотя впоследствии могли стать космонавтами. В ИМБП их называют испытателями) «парит» в салоне самолета, ни на что не опираясь. БКГ, снятая на такой тренировке, оказалась ни на что не похожей, не поддающейся расшифровке. Выяснилось, что испытатель, «парящий» в течение

короткого времени, совершает ряд движений, готовясь к падению после окончания сеанса невесомости. Эти движения полностью маскировали БКГ. Н. М. Анишкина и В. А. Антонец предложили, чтобы испытатель при пикировании повернулся лицом вниз. Это и спасло положение. Теперь он видел пол салона самолета и место, куда должен «приземлиться», видел руки товарищей, готовящихся его подхватить, и произвольных движений, маскирующих БКГ, первые секунды после начала свободного падения не совершал. Методика БКГ успешно прошла апробацию и получила «путевку» в космическую жизнь. Потом она стала штатной, применялась на станции «Мир». В разработке этой методики и подготовке оборудования к полету участвовали также сотрудники НИРФИ Б. Н. Шапошников, В. С. Бессмертный и ИМБП — Р. М. Баевский и И. И. Фунтова.

С помощью датчиков ПАМТ был успешно решен целый ряд научных и практических медицинских задач. Для этого был разработан единообразный методологический подход к проблеме регистрации общих и локальных колебаний тела человека, вызванных деятельностью физиологических систем, учитывающий требования к датчику и его размещению, а также устранение возможных помех при регистрации. В частности, подход указывал на необходимость учитывать реологические характеристики тканей тела в области размещения преобразователей. Их исследование и само по себе представляет большой интерес, и эти работы также развились в самостоятельное направление.

Кроме методов исследования сердечно-сосудистой системы, были разработаны акселерометрические методы вибрационной диагностики органов движения по сопровождающим локомоционные акты вибрациям, наблюдаемым в диапазоне частот от единиц до тысяч герц. Работы были начаты по инициативе Н. М. Анишкиной и д. м. н. А. П. Ефимова (ГИТО), позднее подключился В. А. Антонец. Участники работы из других организаций: д. м. н. Ш. М. Ахмедов (Среднеазиатский медицинский педиатрический институт, г. Ташкент), биофизик Т. Б. Буданова и И. П. Краснощеков, ведущий инженер Горьковского научно-исследовательского приборостроительного института.

Колебания, сопровождающие локомоционные акты, имеют различные физические механизмы и могут быть связаны с особенностями работы системы управления движением, нервно-мышечной и костно-хрящевой систем, взаимодействием тела с опорной поверхностью при стоянии и ходьбе и др. факторами. На анализе этих вибраций, а не на исследовании параметров самого движения, и основаны предложенные принципы подхода к изучению двигательной активности человека. В сочетании со специальными клиническими приемами они послужили основой создания ряда новых методов обследования паци-

ентов [15]. На ряд методов исследования получены патенты. Интересно, например, что на основе анализа тремора (микродвижений) предплечья удалось предложить методику количественной оценки ощущений тяжести мышечным анализатором, результаты применения которой очень хорошо совпали с результатами независимых классических психофизических исследований [16]. В настоящее время исследуется связь регистрируемой акустической эмиссии напряженной мышцы с кинетикой происходящих в ней белковых реакций.

Сложность измерений на биологических объектах сильно повлияла на развитие культуры этих измерений, что в последующем позволило предложить методы диагностики и сложного прецизионного производственного оборудования, и композитных материалов, включая теплоизоляционное покрытие многоразовых космических кораблей, а качество многомодовых измерений вибраций в силовых ва-лопроводах не превзойдено до сих пор.

В физическом институте все сотрудники должны заниматься физикой. Это нормально. К этому у них есть и квалификация, и влечение. При чем же тут может быть медицина и каким образом она влезает в физику? Опыт медицинского отдела, созданного М. Т. Греховой, дает ясный и недвусмысленный ответ на этот вопрос. Конечно, физики должны заниматься физикой. Занимаясь физикой, физики медицинского отдела должны готовить такие достижения в области физики или техники, которые могли бы служить подходящей базой для медицинских исследований. Один такой пример был приведен выше в связи с разработкой семейства датчиков ПАМТ. Есть и другой пример совершенно иного плана. Имеется в виду разработка методов акустотермометрической и акустооптической томографии для исследований в медицине, биологии и гидрофизике. Эта область физики стоит на стыке многих научных направлений, которыми живет институт вне его медицинской деятельности. Это акустика, ультразвуковая техника, антенны и радиометрия. Все это должно быть на самом высоком уровне достижений физики. Только тогда эта область может представлять интерес для медицины. Поясним кратко, о чем идет речь. Речь идет об измерении естественных температурных шумов или флуктуаций, но не электрических сигналов, исследование которых сейчас стало уже тривиальным, а механических движений. В случае оптоакустической томографии речь идет о тепловых шумах, индуцированных поглощением зондирующего оптического излучения. Методы исследования таких сигналов, в принципе, те же, что и в радиоастрономии, но задача много сложнее, так как речь идет об измерении температуры с точностью до долей градуса (что является пределом мечтаний радиоастрономов), но при гораздо более узкой поло-

се. Поэтому приходится использовать все имеющиеся возможности. Эта работа успешно движется. Определены направления, по которым целесообразно вести исследования, и созданы уже не первые образцы акустических термометров. Эти исследования с увлечением и результативностью ведет А. Д. Мансфельд и сотрудники его лаборатории. В перспективе, которая теоретически видна уже сейчас, это направление может дать медицине много неожиданного, ценного и оригинального.

Таким образом, новое для радиопизики направление широких медицинских исследований зародилось и набрало силу.

Авторы выражают свою признательность В. А. Антонцу за обсуждение плана статьи, участие в подготовке и редактировании текста, а также А. Д. Мансфельду, И. И. Шмелеву и В. Г. Яхно за замечания и дополнения, сделанные ими при прочтении рукописи статьи.

### Литература

- 1 *Малахов А.Н.* Флуктуации в автоколебательных системах. М.: Наука, 1968.
- 2 *Зверев В.А., Орлов Е.Ф.* Оптические анализаторы. М.: Сов. радио, 1971.
- 3 *Зверев В.А., Орлов Е.Ф.* Прибор для измерения спектров и корреляционных функций // Приборы и техника эксперимента. 1960. № 1.
- 4 *Зверев В.А., Орлов Е.Ф., Семенов В.В., Спиридонова И.К.* Определение формы спектральной линии радиочастотного генератора // Изв. вузов. Радиопизика. 1969.
- 5 *Starr I., Noordergraaf A.* Ballistocardiography in cardiovascular Research // J. V. Lippincott Company — Philadelphia/Montreal. 1967. P 437.
- 6 *Зверев В.А., Зверева К.В., Спиридонова И.К.* Результаты исследования баллистокardiограммы здоровых // Врачебное дело. 1970. № 1
- 7 *Зверев В.А., Зверева К.В., Спиридонова И.К.* Влияние изменений баллистокardiограммы на ширину ее частотного спектра у клинически здоровых // Кардиология. 1971. № 2.
- 8 *Анишкина Н.М., Грачев А.А., Зверев В.А., Зуйков А.В., Зуйкова Э.М., Кириллов А.И., Роговец К.Е., Рубцов С.Н., Хрулев В.П.* Многоканальный анализатор спектра: А. с. СССР № 451961 G 01г 23/00 // Бюл. № 44. 30.11.74.
- 9 *Баевский Р.М., Талаков А.А.* Баллистокardiография София, 1971.
- 10 *Зверев В.А., Орлов Е.Ф.* Оптические методы обработки информации в радиопизике и в медицине // УФН. Вып. 2. 1972.
- 11 *Зверев В.А., Антонец В.А., Спиридонова И.К.* Спектральный подход к количественной оценке баллистокardiограммы // Медицинская техника. 1971 № 6.
- 12 *Антонец В.А.* Спектрально-силовая кардиография как метод количественной оценки проявлений сердечной деятельности: Автореферат дисс. канд. биолог. наук: 14 00 32. Горький, 1979. 20 с
- 13 *Яхно В.Г.* Автоволновая динамика однородных нейроноподобных систем: Автореферат дисс. д.ф.-м.н. Н. Новгород, 1999. 56 с. Специальности: 01.04.03 — радиопизика и 05.13.16 — применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях
- 14 *Антонец В.А., Анишкина Н.М.* Пьезоакселерометры ПАМТ // Виброакустические поля сложных объектов и их диагностика / ИПФ АН СССР. Горький, 1989. С. 191—203
- 15 *Анишкина Н.М., Антонец В.А., Ефимов А.П.* Оценка функционального состояния опорно-двигательного аппарата человека по вибрациям, сопровождающим локомоторные акты // Современные проблемы биомеханики / Сборник № 7: Биомеханика мышц и структура движений. Н. Новгород, 1993. С. 23—34.
- 16 *Антонец В.А., Анишкина Н.М., Тиманин Е.М., Грибков А.Л., Сингосина Т.Б.* О возможности количественной оценки восприятия тяжести мышечным анализатором: Препринт ИПФ РАН № 485. Н. Новгород, 1999 24 с.

## К СТОЛЕТИЮ МАРИИ ТИХОНОВНЫ ГРЕХОВОЙ

Мария Тихоновна Грехова (М. Т.) родилась 23 апреля 1902 г. на станции Новогеоргиевская вблизи Варшавы. Отец — инженер-путеец, мать — домохозяйка. В 1918 г. М. Т. окончила в Москве среднюю школу и поступила на физико-математический факультет МГУ (специальность «физика»), который окончила в 1924 г. С 1922 по 1932 гг. она работает в Москве в институте, ставшем впоследствии Всесоюзным электротехническим институтом (ВЭИ), пройдя должности от лаборанта до руководителя лаборатории. В 1932 г. М. Т. была переведена (как аспирант) в Горьковский физико-технический институт (ГИФТИ) и в Горьковский государственный университет (ГГУ). Одновременно она была консультантом в ЦВИРЛе (Центральная военно-индустриальная лаборатория).



В 34 года, в 1936 г., М. Т. стала доктором физико-математических наук, а еще через 2 года — профессором. В 1932 — 1956 гг. М. Т. работала в ГИФТИ старшим научным сотрудником, зав. отделом, а одно время возглавляла этот институт. По инициативе М. Т. в 1956 г. из ГИФТИ выделился Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ), директором которого она была до 1972 г. За короткий срок НИРФИ вырос в один из ведущих институтов нашей страны. В 1977 г. на базе НИРФИ был создан Институт прикладной физики АН СССР, являющийся одним из ведущих научных центров Российской АН. С этого времени М. Т. руководила отделом радиофизических и гидрофизических методов в медицине ИПФ РАН.

В ГГУ М. Т. работала с 1932 по 1960 гг. преподавателем и зав. кафедрой. В это время она организовала отдел колебаний ГИФТИ, учебную лабораторию колебаний в ГГУ, кафедру физики вакуума и электрических колебаний в газах и кафедру радиофизики и электронных приборов. Значительный результат ее деятельности — создание первого в стране радиофизического факультета, первым деканом которого была М. Т. Радиофизический факультет готовил кадры

для различных областей радиофизики. А. А. Андронов и Г. С. Горелик были ближайшими помощниками М. Т. при создании и становлении факультета. Основная задача, которую ставила перед собой М. Т., создавая новый факультет, — сделать его таким, чтобы его выпускники шли в ногу с прогрессом науки и техники. С этой целью фундаментальная университетская подготовка горьковских радиофизиков в области физики и математики сочеталась с подготовкой в области электроники и современного физического эксперимента. Последнее было весьма не просто сделать, так как требовалось создать в университете современную технологическую базу. Это было предметом постоянных забот М. Т. Универсальная подготовка, сочетающая фундаментальные знания, знания в области технологии и навыки выполнения экспериментальных исследований позволяли специалистам-радиофизикам эффективно работать в области фундаментальной и прикладной науки. Смело можно сказать, что именно организация этого факультета и правильная постановка преподавания на нем позволили создать такой институт, как НИРФИ, послуживший в свою очередь базой для создания ИПФ РАН. Радиофизический факультет постоянно готовил кадры для АН СССР. Акустический институт АН СССР в период своего развития забирал с радиофизического факультета ГГУ почти всех выпускников. В Горький для чтения лекций и отбора выпускников часто приезжали крупнейшие акустики: Л. М. Бреховских, Л. Д. Розенберг, Ю. М. Сухаревский, М. А. Исакович и др.

М. Т. создала в Нижнем Новгороде крупный мировой научный центр по радиофизике и электронике, в котором выросли, учились и работают многие выдающиеся ученые. Этот центр имеет в своем составе радиофизический факультет Нижегородского университета, ИПФ РАН, НИРФИ.

Идея создания уникального центра не была бы осуществлена, если бы М. Т. не позаботилась бы о кадрах педагогов. К преподаванию на радиофаке были привлечены, кроме основателей факультета А. А. Андронova и Г. С. Горелика, такие специалисты, как В. Л. Гинзбург, С. М. Рытов, М. Л. Левин и многие другие. Это тоже надо было придумать и суметь организовать.

Надо сказать, что в то время, когда М. Т. еще только начинала свою деятельность в Горьком, здесь уже была активно работающая группа в области радио: коллектив знаменитой Нижегородской радиолоборатории. Однако эта лаборатория, даже переведенная в г. Ленинград, не превратилась в такой мощный научный центр, какой вырос на базе созданных М. Т. радиофака и НИРФИ. Дело в том, что у специалистов Нижегородской радиолоборатории не было необ-



ходимого фундаментального образования, что не позволило им идти в ногу со столь стремительным развитием радиотехники и радиофизики.

Масштабы сделанного М. Т. поражают. Создав радиофак ГГУ, М. Т. осуществила подлинную революцию в системе образования. Впервые в мировой практике были органически объединены фундаментальное университетское образование с широким техническим образованием, включающим специальную техническую подготовку. Этот смелый эксперимент принес свои плоды.

Впервые я встретился с М. Т. в декабре 1945 г. Закончилась Великая Отечественная война, я демобилизовался из армии и собирался поступать на только что созданный М. Т. в этом же радиофак университета. Мой друг М. А. Миллер (ныне профессор и известный ученый), с которым мы вместе учились в 1945 г. (до призыва в армию) в Индустриальном институте, посоветовал мне не ждать до сентября следующего года, а поступать на радиофак прямо сейчас. М. А. Миллер в то время уже учился на радиофаке и знал, как надо действовать. Он подсказал мне обратиться за советом к М. Т., которая в то время работала директором ГИФТИ. Этот институт, как и почти все учреждения в те годы, начинался со строгого вахтера. Пропуска у меня не было, но, узнав, что мне нужно к М. Т., вахтер пропустил меня в узенький коридорчик, находившийся рядом с лестницей. Идя по коридору, я слышал беспрестанный звук пишущей машинки. Кто-то печатал так быстро, что временами удары сливались в один сплошной гул. Директорский кабинет представлял собою крохотную комнатку, почти всю занятую столом, за которым сидела М. Т., беседуя с кем-то по телефону. Завидев посетителя, М. Т. указала мне на стул, продолжая беседовать по телефону. Перед дверью кабинета сидела пожилая машинистка и быстро что-то печатала. М. Т. положила телефонную трубку, и начала беседовать со мной. В это время стук машинки прекратился, вошла машинистка, положив перед М. Т. напечатанные ею листы. М. Т. взглянула на бумагу, принесенную машинисткой, взяла со стола ручку, макнула ее в чернильницу и принялась яростно черкать только что красиво отпечатанный документ. Полностью измаранный документ пошел обратно к машинистке, машинка застучала снова.

Потом, тесно работая с М. Т., я неоднократно наблюдал точно такую же картину. На аккуратно отпечатанных бумагах, ложившихся на стол перед М. Т., появлялись чернильные узоры. Та же судьба ждала и вновь отпечатанные (после правки) бумаги. Процесс подготовки документов проходил чрезвычайно медленно, но он всегда сходился, рождая такую бумагу, к которой М. Т. при всем желании не могла придаться. М. Т. объясняла мне свою придирчивость к бума-

гам стремлением сделать со своей стороны все, чтобы написанное ею было действенным. Она и меня учила писать, яростно черкая подготовленные мной документы. Это уменье М. Т. составлять хорошие бумаги, к которым уже нельзя придрататься, во многом способствовало успеху ее грандиозных начинаний.

Во время первого визита к М. Т. я познакомился с еще одним ее качеством, которое сильно отличало ее от других людей, — с отношением М. Т. к людям. Меня, пришедшего к ней за советом, она внимательно выслушала. Узнав, что я мечтал получить образование в области физики и радио еще будучи в армии, где я в последнее время успешно запускал в действие и даже ремонтировал радиолокаторы, освоив это дело самоучкой, М. Т. посоветовала мне обратиться к Г. С. Горелику, который должен меня зачислить на радиофак немедленно. Так оно и случилось. Слова М. Т. редко расходились с делом. Во время нашей беседы к М. Т. зашел человек в военной гимнастерке с орденом Красной Звезды на груди, держа в руках какой-то прибор, напоминающий гигантскую радиолампу. М. Т. поговорила с этим человеком (это был, как я много позже узнал, М. Я. Ширококов) так, что он ушел весьма довольный. Отношения с людьми были одним из наиболее ярких ее качеств. Это качество немало способствовало успеху ее начинаний.

О том, как умела М. Т. за короткое время располагать к себе людей, говорит следующий эпизод. Мне довелось выступить в качестве официального оппонента в одном из страшно закрытых институтов Ленинграда. После защиты многие члены совета, узнав, что я из Горького и из НИРФИ, просили меня обязательно передать привет М. Т. Она очень давно (до приезда в г. Горький) и очень недолго была связана по своей работе с этим учреждением, но этого оказалось достаточно, чтобы люди запомнили ее на всю жизнь. Как такого рода отношения людей способствуют успеху многих начинаний, понятно. Ряд людей, с которыми М. Т. была когда-то знакома и успела наладить отличные отношения, стали крупными начальниками, которые могли способствовать ее начинаниям. Один из таких начальников, адмирал Аксель Иванович Берг, активно помогал М. Т. организовывать как радиофак ГГУ, так и НИРФИ. Умение налаживать отношения с людьми является природным исключительно сильным качеством М. Т.

В последние годы жизни она была заведующей отделом Института прикладной физики РАН. У нее был свой небольшой кабинетик, куда к М. Т. постоянно приходили люди с просьбами оказать ту или иную помощь. М. Т. всем помогала, так как у нее образовался круг друзей, которым она в свое время помогла и которые готовы были

оказать помощь другим по ее просьбе. Как и в свое время в ГИФТИ, к М. Т. можно было беспрепятственно проходить без пропуска.

У М. Т. были не только друзья, но и недоброжелатели, готовые вредить ее начинаниям и сживать ее со света. С ними она яростно сражалась, но только до тех пор, пока ее недруг «был на коне» и мог ей серьезно навредить. Если же с ее недругом происходило несчастье, то она спешила ему на помощь. Я не знаю ни одного случая, когда М. Т., имея полную возможность доставить своему лютому недругу неприятность, воспользовалась бы этим случаем. Недругов М. Т. называла тоже своеобразным способом: козней она не строила никому, но созданные ею устои науки она защищала всеми силами.

Красиво и точно работает адаптивная антенна, выделяющая слабенький сигнал на фоне мощнейшей помехи. Алгоритм адаптации все время следит за процессом, не позволяя помехе извернуться и «съесть» сигнал. С такой же эффективностью, но гораздо умнее и расчетливее в сложной ситуации действовала М. Т. Известный психолог Жан Пиаже определяет уровень интеллекта человека по его умению адаптироваться в жизненных ситуациях. М. Т. обладала уникальной способностью адаптивно вмешиваться в помеховые ситуации, складывающиеся на пути реализации очередной крупномасштабной созидательной идеи. В эту идею, абсолютно беспомощную и уязвимую вначале, М. Т. вкладывала все силы, все резервы, не оставившаяся ни перед чем. Эти усилия благодаря искусству адаптации складывались когерентно, и идея, постепенно набирая силу, осуществлялась.

Насколько М. Т. вкладывала все усилия в идею, не пренебрегая тем, что принято называть мелочами, видно из следующего примера. М. Т. организовала семинар под названием «Радиоэлектроника в медицине». В этом семинаре участвовали как специалисты в области точных наук, так и медики. Я должен был выступать в качестве оппонента в Новосибирске, а в это время собиралось первое занятие семинара. Тогда присутствие оппонента при защите диссертации было обязательным. М. Т. попросила меня не ехать на защиту (что я и сделал по ее просьбе), так как она хотела, чтобы на первом занятии семинара я был обязательно. Последующие занятия я могу пропускать, если мне надо, но на первом я должен был быть непременно. Вот такая «мелочь», как мое присутствие на первом семинаре, где я не выступал ни с каким докладом, для М. Т. была существенна.

Формально создать научное или образовательное учреждение — это даже не половина дела, а гораздо меньшая его часть. Гораздо труднее заставить это учреждение хорошо и эффективно работать. Здесь М. Т. проявляла качество, которого нам в нашей стране в со-

временных условиях очень недостает. Это способность поставить дело так, чтобы люди, участвующие в образовательном процессе или в научной работе, со всеми своими силами «из кожи вон лезли», чтобы дело шло как можно лучше. Я помню, М. Т. часто выступала перед студентами, убедительно разъясняя им, что такое радиофак, какое это замечательное место для учебы, что такое радиофизика и насколько это достойная область приложения творческих сил.

Строя отношения с научными работниками (М. Т. не любила слово «ученые», заменяя его всюду словом «научные работники»), М. Т. не забывала про одну «мелочь». Эта мелочь, как она мне неоднократно говорила, состоит в том, что хороший научный работник признает правильной и нужной только ту сферу деятельности, в которой он работает сам и которую он понимает, а те области, в которых успешно работают другие, он, как правило, не считает достойными для приложения усилий. М. Т. добивалась сплочения ученых, работающих в различных направлениях. Она умела в каждом научном работнике зажечь внутренний огонь, который заставлял его отдавать все силы любимому делу, работать по 25 часов в сутки. Это свято соблюдалось всеми работниками НИРФИ, а ранее, очевидно, соблюдалось и работниками ГИФТИ, с которыми М. Т. имела дело.

В связи с этим различные административные рамки для научных работников НИРФИ были не просто лишними, они мешали. В то время существовала, всячески культивировалась и поддерживалась жесткая производственная дисциплина. На работу надо было всем являться вовремя и также вовремя уходить домой. М. Т. понимала, что оптимальный режим научный работник должен выбрать себе сам. Есть люди, которые работают эффективно далеко за полночь. Им трудно вскакивать в 6 — 7 утра и спешить на работу к половине восьмого. Некоторым надо сосредоточиться на обдумывании какой-то идеи в течение нескольких дней, когда оптимально было бы вообще не ходить на работу. Такой свободный режим был негласно установлен М. Т. в НИРФИ. Но нашелся вахтер, который доложил куда следует, что пропуска многих сотрудников института лежат невостребованными, что этих людей в течение рабочего времени в институте нет. Возник скандал. Один из многих подобных скандалов, которые приходилось «тушить» М. Т. Выдающимся качеством М. Т. была смелость. Она ничего не боялась. Чтобы потушить этот скандал, не вредя научному творчеству сотрудников, М. Т. пришлось поступить смело. Она приняла решение отдать все пропуска в руки сотрудников, чтобы вахтеры не знали, сколько сотрудников «работает», а сколько из них «гуляет». Я помню и такой случай. М. Т. пригласила меня к себе в кабинет и сказала: «Виталий Анатольевич! Мне нужна

фрапантная идея (это ее любимое французское словечко). Пожалуй-ста, не ходите на работу, гуляйте себе по откосу и что-нибудь придумайте». Вот ведь как! Директор, который должен следить за трудовой дисциплиной сотрудников, просит своего сотрудника не выходить на работу. В скором времени я принес М. Т. целых три фрапантных идеи (объемный звук, ультразвуковой карбюратор для автомобилей и когерентное накопление импульсов в радиолокаторе). Все эти идеи были успешно реализованы. Не будь у меня возможности спокойно гулять и что-то фрапантное придумывать, ничего из перечисленных идей не появилось бы на свет. Из всего сказанного выше не следует, что М. Т. не контролировала совсем деятельность научных работников НИРФИ. Не в характере М. Т. было потакать бездельникам. Контроль был жесточайший, но не по времени прихода и ухода на работу, а по полученным результатам. На работу можно было опаздывать, но с выполнением исследований, заданных постановлениями правительства (подавляющее число работ, выполняемых НИРФИ, были такими), опаздывать было категорически нельзя. Каждая такая работа успешно сдавалась строгой межведомственной комиссии.

У нее была еще одна важная особенность деятельности. В процессе принятия решений М. Т. пользовалась не обычным алгоритмом, учитывающим последствия тех или иных действий, а современным алгоритмом, носящим название «последовательный анализ Вальда». Поясню, что я имею в виду. Допустим, надо принять решение о том, что принято — сигнал или помеха. При принятии такого решения возможны ошибки двух родов — можно принять сигнал за помеху или помеху за сигнал. При обычной процедуре построения правила принятия такого решения можно задать заранее вероятность только одной из этих ошибок или одной какой-либо их комбинации. Нельзя построить правило принятия решения так, чтобы гарантировать заданные вероятности обеих ошибок. Несмотря на то что это нельзя, Вальд такое правило придумал, назвав его последовательным анализом. Процедура Вальда позволяет принять решение с гарантией, что как одна, так и другая ошибка будут заданными и при этом сколь угодно малы. Это становится возможным благодаря тому, что решение принимается не всегда. Когда одна из вероятностей не удовлетворяет постановленному заранее условию, то решение не принимается, вернее, принимается решение продолжить наблюдение. Наблюдение продолжается до тех пор, пока не появится возможность принять решение, удовлетворяющее всем поставленным заранее условиям. Математически доказано, что такой способ принятия решения гораздо экономнее обычного, при котором длительность наблюдения назначается заранее, а вероятность гарантируется всего одна.

М. Т. не спешила с решениями. Она умела ждать того момента, когда ее действия увенчаются успехом. В сочетании с точным учетом обстановки и выбором оптимальных действий процедура последовательного анализа была в руках М. Т. весьма эффективной.

Особо следует сказать об отношениях М. Т. с начальством, со стороны которого приходилось ждать не только помощи, но и многочисленных подвохов. Неоднократно предпринимались шаги, направленные на то, чтобы лишить НИРФИ, а с ним и М. Т., какой-либо самостоятельности. М. Т. никогда не предпринимала попыток какого-либо глобального переустройства системы управления образованием, промышленностью, страной. Все это, как она считала, изменить невозможно, и нечего в это дохлое дело вкладывать силы. Она говорила, что, когда идет дождь, нечего прилагать напрасные усилия к тому, чтобы этот дождь прекратить, надо просто взять зонтик.

В ее деятельности роль зонтика играли отношения с Горьковским областным комитетом КПСС, говоря попросту, обкомом. Связь с обкомом М. Т. использовала не только в качестве эффективного зонтика, защищающего ее и институт от козней начальства. Там в то время работал замечательный человек Сергей Васильевич Ефимов. Он возглавлял оборонный отдел обкома, а потом стал его вторым секретарем. С. В. Ефимов, вникнув в суть полученных НИРФИ результатов, оказывал существенную помощь М. Т. в вопросах путей их внедрения, связывал научных работников НИРФИ с сотрудниками институтов промышленности. В его кабинете я и М. Т. встретились с главным конструктором космической техники С. П. Королевым, который сказал нам тогда: «Дайте нам аппаратуру для решения актуальной физической задачи, а мы ее запустим в космос». С тех пор началось взаимодействие КБ С. П. Королева и НИРФИ.

С. В. Ефимов связал НИРФИ с академиком А. П. Александровым (в то время А. П. еще не был президентом АН СССР), причем он сам привел его в НИРФИ. Эта связь имела для НИРФИ чрезвычайно большое значение: было организовано строительство главного здания НИРФИ, а затем на базе НИРФИ при непосредственном содействии того же С. В. Ефимова был создан Институт прикладной физики АН СССР. С. В. Ефимов оказывал существенную помощь М. Т. в вопросах капитального строительства, которые нельзя было решать в то время без обкома. В свою очередь, это стимулировало и научную работу. Просто так в обком разговаривать о насущных делах НИРФИ не пойдешь, надо для этого непременно запастись очередной фрапантной идеей и идти именно с этой идеей, с просьбой обдумать, где и как ее можно использовать, а вместе с этим пользоваться возможностью обсудить жгучие вопросы, касающиеся НИРФИ.

В заключение мне хочется упомянуть о хобби М. Т. Принято считать, что она вся была поглощена работой. Хобби у нее все-таки было и такое оригинальное хобби, результаты которого были многим видны и полезны: она любила и стремилась помогать людям. Масса людей благодарны М. Т. за ее помощь, но были и такие, кто в полном соответствии с природой человека, описанной в афоризмах Ларошфуко, за сделанное добро отплачивали злом. М. Т. отлично разбиралась в людях, видела каждого насквозь, однако, когда речь заходила о помощи, а не о приеме на работу, то ее не интересовало, каков человек, которому она помогает. Она продолжала делать добрые дела всем, включая и тех, кто уже воспользовался возможностью отплатить ей злом.

Мария Тихоновна Грехова создала себе нерукотворный памятник в виде Нижегородского научного центра по радиофизике. В любой работе, книге, изобретении, оригинальном устройстве, фундаментальном эксперименте, сделанном в Нижегородском радиофизическом научном центре, есть немалая доля труда М. Т. Это тоже памятник ей, памятник, который продолжает создаваться и совершенствоваться.

Апрель 2002 г.

## **АЛЕКСАНДРА ГРИГОРЬЕВНА ЛЮБИНА**

Звонок, возвещающий начало лекции, давно прозвенел. В университет вошла компания веселых студентов, которая, не торопясь, как будто бы забыв про то, что они опаздывают, направилась к большой физической аудитории. Эти веселые молодые люди намеревались сказать собравшимся в аудитории студентам, что лекция начнется не скоро и еще есть время поразвлекаться, поскольку они сами видели, как в троллейбус, в который они сумели втиснуться, их профессор Александра Григорьевна Любина сесть не смогла. Каково же было удивление прогульщиков, когда они, открыв дверь в аудиторию, увидели Александру Григорьев-



ну, читающей лекцию! У этих молодых людей было время поразмышлять о том, как А. Г. сумела их опередить, так как она их на свою лекцию, наказав за опоздание, не пустила. В этой истории виден характер А. Г. Она любит порядок во всем и умеет его добиваться с помощью смелых нестандартных решений. Не удалось сесть в троллейбус — она едет на такси.

Для меня Александра Григорьевна — это воплощение порядка и порядочности во всем. Курс лекций по физике, который А. Г. читала в университете, отличался логичностью и ясностью изложения. Это тоже был результат наведения порядка. Четкое определение всех употребляемых понятий, разъяснение их смысла, целесообразности введения — одна из характерных черт педагогической деятельности А. Г. В этом, по моему убеждению, А. Г. не было равных. Сам Габриэль Семенович Горелик — блестящий лектор, автор многих учебников — советовался с А. Г. и считался с ее мнением. Недаром многие руководства и пособия, адресованные студентам, были написаны ими совместно.

Лекции А. Г. не сводились к разъяснению различий между разностью потенциалов и напряжением. Основным их содержанием была увлекательнейшая наука — физика. Перед ее лекциями в аудиторию завозились многочисленные этажерки на колесиках, заставленные приборами. А. Г. использовала многие известные демонстрации и увлеченно придумывала свои собственные, оригинальные. В физическом кабинете у А. Г. была картотека с подробным описанием всех ее лекционных демонстраций, ею пользуются и до сих пор.

Курс общей физики дает лектору массу возможностей проявить себя, рассказывая увлекательнейшие и в то же время необычайно полезные вещи, но он и очень труден для лектора. Закончив университет, я считал, что мною курс общей физики отлично усвоен и освоен, что я отлично знаю и понимаю основные вещи, а многое могу сообразить. Поэтому, когда Г. С. Горелик мне — тогда еще его аспиранту — предложил прочесть курс лекций по общей физике на физическом факультете, я не испытал никакого страха и спокойно согласился. Когда же очень скоро приступил к лекциям, то обнаружил, что ничего не знаю и не понимаю. Каждая лекция требовала от меня не менее 40 — 50 часов подготовки. О диссертации я не мог в это время и думать и не защитил бы ее никогда, если бы мне на помощь не пришла А. Г. Любина. Она стала совершенно безвозмездно читать лекции вместо меня, дав мне возможность подтянуть мою научную работу. Я и так преклонялся перед искусством Г. С. Горелика и А. Г. Любиной блестяще читать лекций (они читали их в разном стиле), а после то-



го, как сам вкусил прелести этого дела, мое преклонение перед их талантом возросло многократно.

Чтение курса физики студентам радиофака университета — колоссальная нагрузка для преподавателя и занимает не только время, но и мысли. А. Г. Любина, читая курс, продумывала и циклы упражнений, и демонстраций, и лабораторных работ. Она часто сама вела упражнения в одной из студенческих групп и всегда еженедельно подробно инструктировала всех преподавателей, ведущих упражнения, что и как надо делать, на что обращать основное внимание на каждом занятии, чтобы оно прошло с максимальной пользой для студентов.

Как-то А. Г. спросила меня: «Виталий Анатольевич, вы знаете, что пишут студенты в своих тетрадях на ваших лекциях?» Я этого не знал, а вот она знала и держала на заметке. Просмотрев записи студентов, в которых кроме формул, списанных с доски, и нескольких малозначащих фраз не было ничего, я пришел в ужас. Принять меры, которые могла принять А. Г., чтобы студенты писали то, что надо, я не мог, принял свои. Еще готовясь к лекции, я стал писать то, что хотел бы видеть в студенческих записях. Но такой конспект для каждой лекции занимал у меня не менее 10 страниц машинописного текста, и никакой студент не мог успеть его записать. Я раздавал студентам свои конспекты, а потом, скопив их в достаточном количестве, стал писать книги. То, что я написал несколько книг, — это всецело заслуга А. Г.

Несмотря на увлеченность преподаванием, требующим бесконечно много времени, А. Г. профессионально занималась и настоящей научной работой. После вынужденного перехода нашего профессора Г. С. Горелика в Москву на кафедре надо было организовывать научную работу. Приверженность порядку не дала А. Г. смотреть спокойно на то, что с уходом Г. С. и его аспирантов на кафедре свернулась научная работа. Для того, чтобы вновь развернуть ее А. Г. привлекла меня.

В начале 60-х годов внимание радиофизиков было приковано к проблеме синтеза апертуры. Было известно, что американцы научились каким-то образом синтезировать апертуру. Были какие-то слухи о том, что для целей синтеза апертуры в радиодиапазоне привлекается оптика. Я в то время успешно занимался оптическими методами обработки информации, поэтому москвичи, возглавляемые Л. Д. Бахраком, поручили мне посмотреть, чем может помочь оптика при синтезе апертуры. Эту работу я решил по просьбе А. Г. дать кафедре физики в качестве основного направления научной деятельности.

Я успел только едва-едва озадачить этой работой кафедру, участвовать в ней и руководить не смог. В это время в НИРФИ развернулась огромная работа, для выполнения которой Мария Тихоновна Грехова перевела меня туда из университета. Участие в этой работе (ей сопутствовали длительные экспедиции) требовало всего моего времени и внимания.

Поэтому вся большая исследовательская работа организовывалась и возглавлялась целиком А. Г. Вся кафедра, а больше других сама А. Г. увлеклась этой работой, которая пошла настолько успешно, что удалось полностью решить поставленную задачу. Помню, как в это время А. Г. при встречах со мной не могла ни о чем говорить, кроме своих идей осуществления оптической обработки для синтеза апертуры. В то время еще не было голографии: работа Габора была опубликована, но она осталась неизвестной даже для Денисюка и Лейта, создавших независимо свои варианты голографии, которые и вошли в жизнь. Идеи, которыми тогда делилась со мной А. Г., представляли собой основные идеи голографии Лейта, он был разработчиком, как и А. Г., оптической обработки сигналов для получения изображений с помощью синтеза апертуры. Однако нас тогда отличал глубокий провинциализм — мы не стремились что-то публиковать и как-то заботиться о признании своего авторства. Считалось естественным, что высказанная кем-то из нас идея нуждается в обсуждении и проверке только в нашем кругу.

Потом появилась публикация американцев, в которой сообщалось, как они решили задачу синтеза апертуры с помощью оптики. Оказалось, что А. Г. сделала очень близкое к тому, что сделали американцы. Отличия были, но они не были принципиальными. Например, американцы применили для фокусировки получаемого изображения специальную коническую линзу. Нашей кафедре изготовить или заказать такую линзу было настолько не под силу, что даже идея такая никому в голову не пришла; был сделан специально изогнутый кривой желоб для пленки, позволивший достаточно хорошо сфокусировать изображение при использовании обычной сферической линзы.

Когда я был еще студентом, кафедре была поручена большая работа по проверке полученного в Москве нового физического эффекта неравновесности электролитов. Было установлено, что постоянная Больцмана в электролитах больше, чем ей полагается быть при тепловом равновесии. Это считалось великим открытием, в корне изменяющим все существовавшие в то время представления не только о неживой, но даже и о живой природе. Теоретики наперебой излагали свои варианты объяснений этого эффекта, когда горьковские радиопизики, среди которых видную роль играла А. Г., обнаружили, что

все не так, что электролиты ничуть не отличаются своим значением постоянной Больцмана от прочих тел. Великое открытие было закрыто, что было не так просто сделать.

При всей серьезности тех дел, которыми была увлечена А. Г., она была самым живым, самым веселым и жизнерадостным человеком на кафедре. Скажу больше: она казалась мне, наряду с моей супругой, самым веселым человеком в мире. Приведу пример. Как-то на кафедре она решила организовать веселую встречу Нового года, чтобы все пришли в костюмах и масках и веселились, как в Рио-де-Жанейро. Почти все состоялось, как задумано. Были показаны короткие сценки из жизни преподавателей и студентов, показано было, как мы с Николаем Сергеевичем Степановым вместе редактировали книгу «Экспериментальная радиооптика», инициатором написания которой тоже была вездесущая А. Г. Но очень трудно организовать веселье на серьезной кафедре среди серьезных людей. Только веселая обезьянка старалась всех развеселить, увлечь своим примером. Веселую обезьянку никто узнать не мог: так ей в маске и комбинезоне было удобно и хорошо, она ни на секунду не снимала маску и веселила всех весь вечер.

Все качества А. Г. и все ее дела и увлечения не только описать, а даже перечислить невозможно. Я не назвал еще ее главное качество — отзывчивость к людям. Она выручала людей и шла им на помощь без всяких просьб. Я уже приводил случай, когда она вместо меня стала читать лекции на физфаке. Я ее об этом не просил, не просил ее об этом и Г. С. Она сама прекрасно чувствовала, что кому нужно, старалась помочь и помогала.

При всей доброте к людям А. Г. была требовательна к ним. Пусть кто-нибудь попытается не выполнить ее распоряжение, высказанное в форме просьбы или пожелания! Не пробовал никто! Такая власть над людьми основывалась не на восточной тирании, предполагающей за малейший намек наслушание немедленно срубить голову с плеч, а на том, что все распоряжения были разумны и понятны людям, они точно знали, как именно их надо исполнить, и хотели этого.

Если бы мы научились растить и воспитывать людей с таким характером, с такой отзывчивостью, с такой приверженностью к порядку, какие были у А. Г., то мы на зависть всему миру построили бы социализм! Я не имею в виду «развитой социализм», по которому у нас кое-кто плачет. Я имею в виду тот настоящий социализм с человеческим лицом и с человеческим сердцем, о котором мечтали утописты. Ей богу, мы бы его построили!

## ВСПОМИНАЯ АЛЕКСАНДРА НИКОЛАЕВИЧА БАРХАТОВА

Я знаком с Александром Николаевичем давно. Точной даты назвать не могу, так как это знакомство шло постепенно. Поступив учиться на радиофак университета в 1945 году, я был всецело поглощен учебой и знал только тех преподавателей, которые вели занятия на нашем курсе, насчитывающем тогда всего два десятка студентов. В ту пору я встречал Александра Николаевича на кафедре физики (вначале не зная, кто это такой), которой руководил тогда профессор Г. С. Горелик. Александр Николаевич тогда был уже кандидатом наук, доцентом, членом партии и в моих глазах был недостижимо авторитетен. Таким он для меня и остается по сию пору.



Александра Николаевича всегда отличала изысканная аккуратность, тщательность, продуманность своей позиции и вытекающих из нее действий. Я не помню случая, чтобы он в критической ситуации возвысил голос или еще как-то излишне резко выразил свое возмущение или недовольство. Поводов для ругани было тогда предостаточно, так как Александр Николаевич был всегда в самой гуще жизни факультета и университета, а неприятностей в этой гуще было мно-

жество. Приведу пример одной из главнейших, оставившей глубокий след на факультете и в университете. Это конфликт, образовавшийся в 50-х годах между профессором Г. С. Гореликом и частью руководства университета на почве выхода в свет замечательной книги Г. С. Горелика «Колебания и волны». Книга была встречена «в штыки» наиболее влиятельной частью руководства университета, умевшей и любившей ярко выражать свои отрицательные эмоции. Поводом для таких эмоций послужило отсутствие в книге в должном количестве трактовок обсуждаемых в ней физических проблем с позиций марксистской философии. Я представляю, какому мощному сверхдавлению со стороны парткома университета подвергался Александр Николаевич в то время, когда его заставляли активно выступить с руганью по поводу книги Габриэля Семеновича Горелика, но он устоял и вел себя в этом конфликте вполне порядочно.

Александр Николаевич длительное время был деканом радиотехнического факультета. В этой должности ярко проявилась одна его особенность, которая была существенна для становления факультета. Начну с такого человека, у которого такая же особенность проявлялась, в силу характера, ярче. Я имею в виду Марию Тихоновну Грехову. Мария Тихоновна делала все возможное и невозможное, чтобы наш радиофак был лучшим факультетом на свете, чтобы наш институт (НИРФИ) был лучшим институтом в мире, чтобы наши студенты и сотрудники были самыми-самыми выдающимися. Мария Тихоновна всячески старалась расширить круг людей, которые бы помогали ей, работая в том же ключе. Среди таких людей был и Александр Николаевич. Он непрерывно был занят тем, чтобы факультет был самым лучшим факультетом на свете, и чтобы все его сотрудники и студенты добивались того же. Вот эту особенность деятельности Александра Николаевича мне хотелось подчеркнуть.

Я испытал эту сторону деятельности Александра Николаевича на своей собственной шкуре. Дело было так. Я уже поступил в аспирантуру, и моя деятельность и круг общения существенно расширились. Это произошло благодаря Александру Николаевичу. Он к этому времени стал заведовать только что созданной кафедрой акустики, был деканом факультета и благодаря своей общественной активности играл видную роль в университете. Будучи студентом, я занимался исключительно учебой, никак не участвуя в общественной жизни, хотя пришел в университет комсомольцем (вступил в военные годы), здесь был принят в члены партии. На меня обратил внимание Александр Николаевич и начал нагружать разнообразными общественными поручениями, а вскоре я благодаря его настойчивости стал сначала членом партийного бюро факультета, а потом и его секретарем. Подражая Александру Николаевичу, я старался, «вылезая из кожи», вести полезную для факультета общественную деятельность, хотя это трудно давалось: у меня не было склонности, желания и умения вести общественную работу. Поэтому я всегда любовался тем, как блестяще с этим труднейшим делом справляется Александр Николаевич. Помню, я застал его в парткоме университета в тот момент, когда ему только что дали ответственное поручение. Покончив с этим делом, секретарь парткома поблагодарил Александра Николаевича за согласие выполнить данное ему поручение, а чтобы подчеркнуть значение этого события он сказал так, чтобы слышали все: «Вот теперь, когда дело поручено Александру Николаевичу Бархатову, я буду спокоен, что все будет в порядке, и об этом участке работы могу больше не думать!»

В свое время Г. С. Горелик говорил, что в сфере образования рискованно иметь дело с людьми, которые сами не увлечены настоя-

щим делом, а всецело заняты исполнением своих административных функций и общественной работой. Под настоящим делом Г. С. Горелик понимал научную и педагогическую работу. Согласно этому критерию, с Александром Николаевичем, как с администратором и общественным деятелем, можно было иметь дело, так как Александр Николаевич был по-настоящему, всерьез увлечен своей научной работой и преподаванием.

К моменту создания на факультете под руководством Александра Николаевича кафедры акустики в науке произошло крупнейшее событие. Группой советских акустиков, руководимых Л. М. Бреховских и Л. Д. Розенбергом, было открыто замечательное природное явление — подводный звуковой канал. Когда было изобретено радио, скептики утверждали, что в этом открытии нет новой принципиальной возможности для осуществления связи на большие расстояния, ведь амплитуда волны убывает с расстоянием довольно быстро, как единица, деленная на расстояние. Что тут особенного? Статическое поле тоже имеет теоретически неограниченную протяженность, убывая всего лишь как единица, деленная на квадрат расстояния. По мнению этих скептиков, дальняя связь могла быть установлена с помощью статических полей ничуть не хуже, чем с помощью радиоволн. Сегодня таких скептиков уже не найти! Так вот, в подводном звуковом канале акустические волны начиная с некоторого расстояния убывают гораздо медленнее, чем радиоволны — как единица на корень квадратный из расстояния. Это открытие перевернуло всю подводную акустику и в тоже время существенно усложнило эту науку. В оптике есть такое понятие как тонкая линза, которым пользуются для упрощения расчетов при наличии преломляющих систем. Толстая линза куда сложнее тонкой, так как в ней больше параметров и сложнее протекающие явления. Так вот, океан — это гигантская преломляющая система, толстенная линза, а распространение волн совершается прямо внутри этой линзы.

Научные интересы Александра Николаевича и возглавляемой им кафедры акустики были с самого начала напрямую связаны с проблемой распространения волн в условиях существования подводного звукового канала. В то время, в конце сороковых — начале пятидесятых, еще не было вычислительных систем, способных решить столь сложную и объемную задачу. Натурный же эксперимент был связан с большими организационными трудностями, безумно дорог и... недостаточно точен, так как его невозможно провести в полностью контролируемых условиях. Всегда существуют какие-то неизвестные факторы, а также шумы и помехи, которые могут оказать влияние на результат. Кроме того, трудно, а подчас даже невозможно подробно

промерить поле на протяжении всей трассы и по всей глубине, не говоря уже о том, чтобы охватить все интересные случаи. Александр Николаевич был одним из первых, если не самым первым, кто предложил и осуществил метод масштабного моделирования, позволяющий решить подобную задачу просто, быстро и достаточно надежно.

Разработка идеи велась в Горьком силами Александра Николаевича и коллектива его кафедры при полном одобрении и заинтересованной поддержке со стороны Москвы в лице Л. М. Бреховских и Акустического института Академии наук СССР. Метод масштабного моделирования, развиваемый Александром Николаевичем Бархатовым, его сотрудниками и учениками, позволял охватить все интересные случаи, промерять поля вдоль и поперек практически без всяких ограничений и делать точные измерения практически при отсутствии влияния помех и шумов.

Дело это поначалу было весьма сложным. Во-первых, надо было решить, что и как можно и нужно моделировать с уменьшением масштаба и с каким именно уменьшением. Никто этого тогда еще не знал. Решив эту задачу, надо было выбрать конкретный путь построения масштабных моделей, разработать и изготовить соответствующую технику. При всей тщательности, целеустремленности и работоспособности Александра Николаевича и возглавляемого им коллектива на все это ушли многие годы. В результате впервые в мире была создана целая наука о моделировании и исследовании особенностей распространения акустических волн в слоисто-неоднородном океане. Эта наука включает теорию и технику моделирования, а также теорию и технику исследования полей в модельных условиях.

Благодаря тесным связям с Москвой, с Акустическим институтом, существенно улучшилась подготовка акустиков в Горьковском университете. К нам на факультет приезжали такие видные ученые, как Л. М. Бреховских, Л. Д. Розенберг, Ю. М. Сухаревский. Читая лекции и проводя занятия, эти специалисты узнавали студентов, выявляли среди них наиболее способных и брали к себе. Многие студенты кафедры акустики выполняли свои дипломные работы в Акустическом институте, а потом оставались работать в нем. Основу сухумского филиала этого института, включая его руководство, составили выпускники Горьковского университета, подготовленные Александром Николаевичем и его кафедрой акустики.

Научные интересы Александра Николаевича никогда не пересекались с моими. Я не интересовался масштабным моделированием акустических полей в океане, а Александр Николаевич был всецело этим поглощен и не интересовался моей оптической обработкой различных сигналов. Однако наши сотрудники взаимодействовали очень

тесно. Мой ученик С. М. Горский, занимавшийся вместе со мной оптическим спектральным анализом, выполнял различные исследования на кафедре акустики с использованием масштабного моделирования и разнообразной измерительной техники, разработанной и созданной на кафедре. Один из основных научных сотрудников Александра Николаевича И. И. Шмелев, много сделавший на ниве масштабного моделирования, впоследствии стал моим сотрудником. Мой бывший аспирант И. Н. Диденкулов, учившийся в свое время на кафедре электродинамики, успешно ведет научную работу на кафедре акустики. Такая связь сложилась благодаря тому, что кафедра акустики, созданная Александром Николаевичем, — особая кафедра. С сотрудниками этой кафедры приятно работать, так как они с ходу понимают высказанную им идею и много всего умеют и любят делать. Сейчас у этой кафедры другой заведующий — С. Н. Гурбатов, но творческая научная атмосфера кафедры, заложенная ее создателем, полностью сохранена.

Александр Николаевич вспоминается мне большим, незаурядным человеком, сумевшим сделать много полезного для университета и его радиофизического факультета, и в то же время человеком, внесшим весомый вклад в науку.

## А. Н. МАЛАХОВ

...Самый-самый! Так можно сказать о многих сторонах жизни и деятельности Аскольда Николаевича Малахова. Он один из самых результативных педагогов — воспитателей талантливой научной молодежи. Он один из самых крупных и преданных науке ученых. Он один из самых веселых людей — душа компании. Он один из самых влюбчивых мужчин и успешных покорителей женских сердец. Он один из самых удачливых рыбаков. Вспоминая Аскольда Николаевича, очень важно не только почтить его память, но и понять, в чем секрет его успеха в столь многих сторонах жизни и деятельности.





Начнем с рыбалки. Что такое удачливый рыбак? Это человек, которому удается, хотя бы изредка, поймать большую рыбу. Достичь такого успеха можно различными путями. Можно, запасшись невероятным терпением, сидя день и ночь на берегу, ловить миг удачи. У А. Н. был иной метод, благодаря которому удача ему сопутствовала всегда. Он сначала серьезно, теоретически по книжкам изучал повадки рыб и различные приемы рыбной ловли. На этом этапе он был одним из самых эрудированных рыбаков-теоретиков. Затем наступал этап осмысления всего изученного, приобретался и изготавливался соответствующий инвентарь, снаряжение, и все это внедрялось в практику. На этом этапе проявлялся один из самых больших запасов терпения, велась подгонка снаряжения, вновь и вновь изучалась литература. После этого приходил успех. Успех не только ожидаемый, но и обеспеченный всей подготовительной работой. Точно таким же методом А. Н. действовал и в иных областях (возможно, за исключением любовной), где он оказывался самым-самым, или, чтобы не обижать никого, скажем мягче: одним из самых.

Конечно, успехи А. Н. на ниве просвещения и науки объясняются не только эрудицией и умением владеть ситуацией, но и талантом исследователя и педагога. По характеру своей деятельности А. Н. ближе стоит к теоретикам, но он не ограничивается теорией, а вторгается в эксперимент. Так поступают многие теоретики, однако А. Н. отличается тем, что любит и умеет сам «работать руками». На заре своей научной деятельности, еще не будучи кандидатом наук, А. Н. собственными руками сделал уникальный прибор — генератор сигналов низкой и сверхнизкой частоты, без которого было невозможно проводить исследования во многих областях радиофизики. Несмотря на ощущавшуюся потребность, подобных генераторов тогда не было, и А. Н. внедрил свои идеи в практическую разработку.

К началу научной деятельности А. Н. на ниве статистической радиофизики к этой области было приковано внимание крупнейших ученых. Были созданы основы нынешней теории помехоустойчивости. Однако все это относилось к так называемым линейным системам, самым распространенным и простейшим компонентам радиотехнических устройств, к которым можно было с хорошим приближением отнести все за исключением типично нелинейных устройств — генераторов колебаний. С математического описания работы генераторов берет начало современная радиотехника, так как освоение новых диапазонов частот происходит именно с создания генераторов. Так вот в статистической радиофизике ко времени появления в ней А. Н. шла работа в области описания шумов генераторов. Ведущую роль здесь играла научная школа Г. С. Горелика, к которой принадлежал

и А. Н. Одним из учеников и сотрудников Г. С. Горелика, И. Л. Берштейном, был осуществлен уникальный по тем временам эксперимент по установлению так называемой естественной ширины линии генератора<sup>1</sup>. Теория этого вопроса была разработана Г. С. Гореликом<sup>2</sup>. Вел успешную работу в этом направлении и другой ученик Г. С. Горелика — В. С. Троицкий<sup>3</sup>, руководил дипломной работой А. Н., по заданию и под руководством В. С. Троицкого А. Н. изготовил генератор низкочастотных колебаний, который упоминался выше.

В это время А. Н. под влиянием превратностей любви был вынужден покинуть Горький и на 4 года уехал в Рязань, где он преподавал высшую математику и, как сам говорил впоследствии, отлично усвоил принципы и методы этой науки. А. Н. удалось полностью решить задачу о флуктуациях генератора. Это был весьма существенный вклад в радиофизику на том направлении, к которому проявлялся в то время большой интерес. А. Н. опубликовал обширную монографию «Флуктуации в автоколебательных системах» (М.: Наука, 1968), в которой были исчерпывающе решены различные проблемы, относящиеся к флуктуациям в генераторах, а также затронуты многие вопросы, непосредственно к поведению генераторов не относящиеся. В первую очередь это вопросы нестационарных флуктуационных процессов, исследованию которых должного внимания не уделялось, т. к. никто не знал, как к этому подойти. А. Н. сделал в этом направлении существенный шаг, он нашел и указал новый исключительно простой и плодотворный способ строгого математического подхода к нестационарным явлениям. В докторской диссертации А. Н. были заложены основы дальнейшей плодотворной деятельности как самого А. Н., так и его многочисленных учеников.

Очевидно пересытившись теорией, А. Н. с головой влез в эксперимент в совершенно новой для себя области — бионике. Эта наука создана ради понимания того, как и какими научными принципами пользуются живые существа, и ради заимствования принципов, используемых живыми организмами, в интересах науки. В коллектив были привлечены специалисты-энтузиасты биологи и радиофизики. Началась бурная и очень веселая пора экспериментов с животными и насекомыми. Под эту успешно развивающуюся деятельность на радиофизическом факультете была создана кафедра

---

<sup>1</sup> Берштейн И. Л. Флуктуации амплитуды и фазы лампового генератора // Изв АН СССР Сер физ 1950 Т. 14, вып 2. С. 145.

<sup>2</sup> Горелик Г. С. К вопросу о технической и естественной ширине линии лампового генератора // ЖЭТФ 1950 Т. 20, вып 4. С. 351

<sup>3</sup> Троицкий В. С., Хрулев В. В. Измерение спектральной ширины линии клистронного генератора на длине волны 3,2 см // Радиотехника и электроника. 1956. Т. 1, вып. 6 С 831

статистической радиофизики и бионики, которую возглавил А. Н. Кафедра успешно существовала длительное время, ведя специализацию студентов по двум направлениям: статистической радиофизике и бионике. Однако А. Н., несмотря ни на что, остался верен статистической радиофизике. В результате от бионики на кафедре сохранилось лишь название, которое не сменили по политическим мотивам: решили, что не следует создавать впечатление, что в университете на радиофизическом факультете изгоняют бионику. На самом деле никто бионику не изгонял, она кончилась сама по себе. Этот факт с бионикой чрезвычайно поучителен. Он говорит о том, как трудно сохранять в течение длительного времени научное направление. Даже самого горячего желания здесь недостаточно. Чтобы сохранялся необходимый интерес к специальности, в ней должны появляться, жить и развиваться новые научные идеи. Тем более удивительно, что А. Н. на протяжении всей его жизни удалось сохранить верность одному научному направлению — статистической радиофизике — и успешно развивать его!

Говоря об удивительном, следует на одно из первых мест поставить успехи А. Н. в отыскании и выращивании талантов. Для этого надо не только уметь видеть, кто и на что способен, но и загрузить ученика подходящей задачей, чтобы она была ему по силам и непременно интересна. В результате получилось так, что ученики А. Н. возглавляют ряд ведущих кафедр факультета и сам факультет.

Многие ведущие кафедры радиофака в своей научной и учебной работе опираются на такие могучие институты, как НИРФИ и ИПФ РАН. Кафедра А. Н. в силу специфики своего научного направления такой поддержкой воспользоваться не могла, поэтому, чтобы быть на уровне других научных кафедр, выполняла работу свойственную не только кафедре ВУЗа, но и целого научного института, в том числе выполняла заказы промышленности на проведение исследований. Среди тем были и такие, о которые «поломали зубы» крупные центральные институты, например задача об активном заглушении звуков и вибраций. А. Н. сплотил вокруг своей кафедры многих исключительно сильных специалистов, в числе которых были наиболее выдающиеся его ученики. Мне неоднократно доводилось делать научные сообщения на семинаре, руководимом А. Н. Это была одна из самых квалифицированных и заинтересованных аудиторий, перед которыми мне приходилось выступать.

Таким самым-самым представляется мне Аскольд Николаевич Малахов. Бесшабашно веселый — душа компании и в то же время один из самых крупных ученых нашего времени, много успевший сделать как Ученый и как Учитель.

## ВСПОМИНАЯ АЛЕКСАНДРА ИВАНОВИЧА ВЕСНИЦКОГО

Александр Иванович Весницкий (АИ) был таким незаурядным человеком, которого невозможно кратко охарактеризовать. Проще и достовернее привести некоторые жизненные эпизоды с участием АИ.

В начале нашего знакомства я встречал его на территории университета, когда я направлялся на занятия или шел с занятий. АИ



при такой мимолетной встрече никогда не ограничивался обычным приветствием, а начинал заинтересованный разговор на какую-либо волнующую его тему. Чаще всего АИ делился со мной впечатлениями о Михаиле Адольфовиче Миллере, глубокие, яркие лекции которого ему доводилось посещать.

Затем АИ по своей собственной инициативе организовал в Нижнем Новгороде научное общество, оно называлось Обществом механиков. Члены общества — доктора наук, профессора, среди которых были видные деятели университета и не только университета. Устраивались регулярные заседания, на которых заслушивались научные сообщения, а также намечались планы дальнейшей деятельности. Ядром этого коллектива, его мотором и сердцем был АИ. Часть намеченного действительно осуществлялась, что требовало от АИ невероятной энергии, инициативы и труда.

Приведу три примера успешно реализованных начинаний созданного АИ общества механиков: выпущен журнал на отличном английском языке, содержащий статьи, специально написанные членами общества, организована международная конференция в Нижнем Новгороде с приглашением иностранных ученых, создана школа по обучению науке на основе специально разработанной программы. Школа была организована на коммерческой основе с платным обучением и получилась школой для аспирантов. Все это, а также многое другое было сделано почти одновременно, что требовало невероятной затраты энергии, инициативы и разворотливости. Крохотная иллюстрация. У АИ было много помощников среди его сотрудников и товарищей по работе в университете, которые были каким-то образом связаны с механикой. Я с механикой ничего общего не имел, но АИ по какой-то причине задумал привлечь меня к преподаванию в организованной им школе по механике. Я не собирался в этот момент ничего нового осваивать и преподавать сверх того, что мне уже приходилось делать. Поэтому я всячески отказывался от предложений АИ. Но он прояв-

лял настойчивость, при встречах провожал меня и заводил речь о том, чтобы я вел какой-то курс в его школе. В эти минуты мне казалось, что АИ тратит время совершенно даром, что уговорить меня что-то новое преподавать ему ни за что не удастся. Так вот, удалось! Как? Я заразился его примером, его энергией, стремлением решить поставленную задачу как можно лучше. И вот написал программу и стал осваивать новый для себя курс, который АИ сформулировал для меня как «Физические основы измерений».

Не меньшую активность проявил АИ и по отношению к другим преподавателям своей школы. Уговаривать пришлось каждого. Школа начала работать. Где? Это вопрос далеко не праздный. Для учебы необходимо не простое помещение, а помещение, оборудованное для занятий. АИ уговорил директора общеобразовательной школы в центре города, предоставлять помещение этой школы обществу механиков в вечернее время. И это было сделано. Занятия регулярно проходили, состоялись зачеты, были подведены итоги. Это только часть фактически сделанного, но то, что сделано, далеко не охватывает всего того, на что были затрачены силы и время. Чтобы столько сделать, надо было чрезвычайно много и упорно трудиться, так как у ученого, как правило, в области практических дел низкий КПД. Далеко не каждое действие, на которое затрачена энергия, приносит хоть какой-то результат. Поэтому, чтобы было что-то все-таки реально сделано, надо быть исключительно активным и деятельным человеком.

АИ имел страсть — страсть к науке. Благодаря ей он прошел все ступени научной лестницы начиная с самой нижней ступеньки — с должности лаборанта кафедры — и кончая научной степенью доктора наук и профессора. Если бы не болезнь и преждевременная кончина, он поднялся бы еще выше. АИ, безусловно, достоин академического звания и, без всяких сомнений, получил бы его, если бы не болезнь. Ценность научных идей и всей научной деятельности АИ неоспорима. Академиком потрясло, что такой известный ученый, как академик Виталий Лазаревич Гинзбург (лауреат Нобелевской премии), в своей речи при вручении ему высшей награды Академии наук — золотой медали — ссылаясь на работы АИ. Сам АИ объяснял это просто. В. Л. Гинзбург специально заказал АИ статью для журнала «Успехи физических наук», редактором которого он являлся. Как будто бы и в самом деле просто добиться своими успехами того, чтобы тебе известный ученый, редактор журнала, заказал статью для этого журнала. Статья, как и многие работы АИ, была посвящена глубокой связи процессов, находящихся в цитадели электродинамики, с механикой. Кажется, что не существует никакой связи между распространением электромагнитных волн в проводниках, волнами на воде, возбуждаемы-

ми кораблем, скоростным поездом, мчащимся по рельсам, или движением шахтной клетки. АИ установил такую связь, любил говорить об этом и показал, что именно в этой связи следует искать наиболее эффективные пути к прогрессу. АИ любил и мог страстно говорить о науке везде и всегда. Помню, по какому-то делу АИ первый раз оказался у меня в гостях в Институте прикладной физики. Быстро закончив с вопросом, по которому он зашел ко мне, АИ взял мел, пошел к доске и стал излагать основы развиваемого им колебательно-го подхода к различным механическим процессам на примере поведения бусинки на колеблющейся струне. Это было для самого АИ так важно и интересно, что рассказ получался ярким, доходчивым. Слушатели заражались энтузиазмом докладчика. Видя это, АИ заметил, что мел, которым он пользуется, был подарен ему после выступления в одном из московских институтов за отличный доклад.

АИ много сделал для развития науки. Я имею в виду не только его собственные работы, но и работы его учеников и всей его научной школы, а также работу организованного АИ научного семинара, который немало способствовал развитию науки в нашем городе. Подобных семинаров в нашей стране немного. Организовать такой выдающийся семинар и поддерживать его деятельность стоит значительных усилий. На каждый учебный семестр издавалась программа семинара с указанием даты проведения, тем докладов и докладчиков.

АИ умел быть верным другом. Он был другом нашего дома, часто приходил к нам обсудить научные новости, послушать музыку. АИ любил и умел слушать классическую музыку.

В Александре Ивановиче Весницком реализовался тот редчайший случай, когда в человеке любовь к науке столь сильна, что он как бы светится этим чувством и освещает путь многим людям!



**Президиум конференции «Волновые и вибрационные процессы в машиностроении» (Горький, 1989 г.)**

## СЕМИНАР П. Л. КАПИЦЫ

Никакое успешно развивающееся научное сообщество не может обойтись без научных семинаров. Они необходимы как докладчикам, так и слушателям и являются той тончайшей прочнейшей тканью, которая связывает многих научных работников в единый коллектив, способный усилиями своих членов решать интересные и сложные задачи. Выбор конкретных задач, которые ставят перед собой ученые, часто определяется тем, насколько та или иная задача способна заинтересовать слушателей семинара, насколько велико стремление докладчика ее изложить, а слушателей вникнуть в нее.

Я расскажу здесь об одном заседании научного семинара, который организовал и вел в Москве Петр Леонидович Капица. Мне доводилось присутствовать на заседаниях этого семинара в качестве слушателя, когда я еще только начинал свою научную деятельность. Семинар Капицы проводился в Институте физических проблем в абсолютно свободной обстановке. Любой человек с улицы мог свободно прийти туда и сколько угодно смотреть на известных всему миру физиков. Меня иногда приводил на заседания этого семинара мой профессор Габриэль Семенович Горелик, который был близко знаком с крупными физиками — с Ландау, Леонтовичем и другими — и заботился о том, чтобы меня как-то приобщать к большой настоящей науке. Мне очень хочется рассказать всего об одном заседании этого семинара, на котором мне довелось быть не только слушателем, но и докладчиком, что оставило во мне глубочайший след.

Прежде всего, расскажу, каким образом я очутился в качестве докладчика на столь престижном семинаре физиков. Все началось с того, что у меня появилась научная идея, попытаюсь ее кратко изложить чуть позже, чтобы не увязнуть в дебрях науки, а отложить это удовольствие на потом. Пока наука пусть подождет, я только скажу, что эта идея, как почти все мои идеи, лежит на стыке ряда областей физики, а в данном случае — более глубокого понимания природы действия наших очень тонких органов чувств. Речь идет об особенностях действия так называемого бинаурального слуха, т. е. о той части нашего слуха, которая связана с наличием двух ушей. Эта идея у меня была переплетена с голографией так тесно, что я решил рассказать о ней на очередной всесоюзной школе по физическим основам голографии. В этот раз школа проходила в Новосибирске, и для участия в ней впервые пригласили иностранных ученых. Приехали известные ученые, трудами которых создавалась голография. Среди них был восьмидесятилетний Кох, известный работами по созданию радиоантенн с синтезированной апертурой, участие в разработке ко-

торых привело Лейта и Упатниекса к созданию всем известной оптической голографии в ее современном виде. Приехал и Лейт. Я прилетел в Новосибирск по местному времени уже утром и, устроившись в гостинице в шикарном номере, думал поспать хоть немного, так как всю ночь во время полета из Горького с посадкой в Челябинске спать не удавалось. Вдруг раздается телефонный звонок и мелодичный женский голосок очень вежливо, с целой охапкой извинений за причиненное беспокойство, просит меня на минуточку вниз, в вестибюль гостиницы. Оказалось, что меня вызывали две девушки-переводчицы, которые должны были мой будущий доклад, запланированный на пленарное заседание школы, синхронно переводить на английский язык для находящихся в зале иностранных гостей. Они попросили меня попробовать начать доклад, чтобы приноровиться к моим терминам, выражениям и темпу речи. Послушав меня в течение нескольких минут, переводчицы сказали, что доклад не годится не только для перевода, который вряд ли у них получится, но и для обычного русского слушателя, так как я говорю недостаточно ясно и четко. Придя к себе в номер, я решил, что спать не буду, а вместо этого напишу текст доклада на русском языке, который смогу просто вручить переводчицам — и пусть они его переводят, не обращая внимания на мою косноязычную речь. Так я и сделал. Работа над созданием дословного текста будущей лекции заставила меня в деталях продумать свой доклад, и он получился у меня исключительно удачным. Многие мои знакомые по предыдущим школам специально подходили ко мне после доклада, поскольку считали своим долгом поздравить меня с очень хорошим выступлением. Один из них отметил, что этот доклад гораздо удачнее всех моих предыдущих выступлений на тех же школах, хотя и те выступления были хорошими. Другой мой знакомый — преподаватель одного из вузов Ленинграда — подошел ко мне и сказал, что после моего выступления он наконец понял, почему это вдруг преподаватели с их кафедры акустики стали посещать его лекции по голографии. Это произошло после того, как я поделился своими соображениями о природе бинаурального слуха в Ленинграде в радиотехническом институте (ИРПА), где были, очевидно, и специалисты этой кафедры акустики, которые вместе с ИРПА занимались разработкой стереофонических акустических систем. Развитые мной теоретические соображения о природе бинаурального слуха имели прямое отношение к восприятию человеком стереофонических программ, и позволяли высказать ряд практических рекомендаций о том, как надо изготавливать стереофоническую аппаратуру, чтобы ее звучание сильнее впечатляло слушателей. Тем самым я стал играть роль некоторого возмутителя спокойствия среди тех специалистов-



профессионалов, которые занимались стереофоническими системами. Специалистам по радиотехнике, которые были недостаточно образованы, чтобы понимать суть идей, на которых я основывал свои рекомендации, это не нравилось, им казалось, что какой-то явно не специалист вдруг выдвигает неизвестно откуда взявшиеся непонятные идеи.

Тем не менее, не считаться с этими идеями было уже нельзя. Я получил приглашение выступить с докладом о физической природе стереофонии на пленарном заседании Всесоюзной акустической конференции — весьма солидном мероприятии, собиравшем более тысячи участников со всей страны. Однако при этом ставилось одно условие: текст доклада должен быть в Москве у организаторов конференции ровно через три дня после получения приглашения. Я пришел по этому поводу посоветоваться к директору НИРФИ, в котором я тогда работал, Марии Тихоновне Греховой, так как мне казалось, что поставленное условие успеть выполнить уже нельзя. Оценив сложившуюся ситуацию, Мария Тихоновна сказала, что надо уложиться в установленный срок. Для этого я должен обязательно принести ей на следующий день текст доклада, а все остальное — это будет уже ее забота. Текст доклада я принес вовремя, так как у меня уже была основа — тот текст, который я написал в гостинице для переводчиков. Пленарный доклад я делал в первый же день конференции при большом стечении народа, и он у меня тоже получился удачным. Правда, после этого специалисты по стереофонии пытались меня «съесть» и специально устроили во время конференции заседание так называемого круглого стола, где собирались разгромить все положения моего доклада. Во время очень бурной дискуссии я увидел, что профессионалам не хватает общей физической и математической культуры для того, чтобы воспринять основы той теории, которую я излагал в докладе. И это же обстоятельство не дало им возможности «слопать» меня, мне удалось отбить все нападки, злые вопросы и возражения. Заседание только добавило интереса к моему докладу, и после конференции меня пригласили выступить с тем же докладом в Акустическом институте Академии наук, где я продемонстрировал оригинальную аппаратуру, которая позволяла делать великолепный стереофонический сигнал из любого монофонического, а стереофонический позволяла воспроизводить так, что он начинал звучать гораздо лучше. Этот доклад я делал совершенно свободно, не стесненный никаким регламентом, в дружелюбной обстановке, перед специалистами, которых я прекрасно знал, и аппаратура в прекрасном зале Акустического института хорошо звучала.

Этот научный доклад с музыкой произвел сильное впечатление на слушателей. Муж одной очень авторитетной и активной сотрудни-

цы Акустического института работал в Институте физических проблем у П. Л. Капицы, а она так расхвалила мой доклад своему мужу, что меня пригласили выступить и у них с докладом. Заседание семинара Капицы, на котором я делал свой доклад, было последним в сезоне перед закрытием на летние каникулы. По традиции на семинарах заслушивались два доклада, которые были связаны между собой по тематике. Однако организаторы семинара имели очень смутное понятие о содержании моего сообщения, и исходили, видимо, из практической его направленности. Поэтому первым шел доклад из ФИАН о гигантском телевизионном полупроводниковом экране. Дело было уже в июне, начиналась жара, пора отпусков, ни о чем серьезном физикам думать, очевидно, уже не полагалось, и поэтому были поставлены доклады, интересные своей практической направленностью и не требующие умственного напряжения. Что касается первого доклада, то так оно и было. Докладчик очень кратко остановился на теории, так как она была большинству уже очень хорошо знакома, а затем перешел к показу своих достижений в области создания больших телевизионных плоских экранов.

С моим докладом поначалу все шло отлично. В это время моя супруга была в Москве на очередной стажировке. Она уже блестяще сдала все полагающиеся зачеты, сверкнув своей эрудицией как в области педагогики, так и по физике, получила красивый диплом и вместе со мной собиралась возвращаться домой. Мы с ней пришли в институт Капицы часа за два до начала семинара. Мне хотелось тщательно подготовить и настроить ту аппаратуру, которая должна демонстрироваться во время доклада. Ее специально везли на автомобиле из Горького, так как ни в Москве и нигде в мире подобной техники не было. Создавал эту аппаратуру, тщательно вылизывал ее, доставал для нее всякими путями детали Владимир Александрович Кротов, работавший у меня в отделе. Он был не только блестящим инженером, бывшим в курсе всех последних достижений инженерной мысли, но и очень способным менеджером, умевшим налаживать деловые связи со многими людьми. Он установил дружественные контакты с Государственным домом звукозаписи, получал оттуда любые фонограммы, оказывая, в свою очередь, существенную помощь дому путем внедрения наших идей в аппаратуру звукозаписи. Когда я делал свой музыкальный научный доклад в Акустическом институте, Юрий Михайлович Сухаревский — профессор, основатель этого института и один из лучших пианистов мира, бывший любимым учеником самого Игумнова — поставил мне в упрек отсутствие в репертуаре музыкальной классики. Стереофония, как говорил Сухаревский, создавалась при участии известного дирижера Леопольда Стокков-

ского и на очень хорошей классической музыке. Я тогда не занимался музыкальным репертуаром и отдал его целиком на усмотрение Кротова, обожавшего музыку, но обладавшего своим музыкальным вкусом. Упрек я счел справедливым, и мне захотелось исправиться. С этой целью я договорился, чтобы машиной, следующей из Горького, заехали в дом звукозаписи, взяли оттуда пленки с классической музыкой и потом привезли всю аппаратуру на семинар. Все вроде бы хорошо, я стою на улице и поджидаю свою машину, а ее нет и нет. Уже прошли два часа, которые оставались до начала семинара, уже зал заполнился людьми, сам Капица начал вести заседание семинара, предоставил слово первому докладчику, а никакой машины с аппаратурой все еще нет. Моя супруга успокаивала меня, как могла, а я нервничал так, как только был способен нервничать, на самом максимуме, так что во рту все пересохло, голова ничего уже не соображала. Я не знал, как буду делать доклад и что буду говорить, так как я очень рассчитывал на музыку, а ее нет, похоже, что уже не будет, и это тоже мне причиняло беспокойство, наверняка, и с машиной что-нибудь стряслось, так как Кротов человек исключительно надежный и подвести не мог. И вот к концу первого доклада, когда я уже сидел в зале и пытался собраться с мыслями для доклада, вваливаются мои сотрудники с ворохом всяких блоков, ящиков, магнитофонов, лент и начинают все это расставлять. Опробовать всю аппаратуру до доклада не удалось. Оказалось, что Кротову по телефону сообщили время начала только моего доклада, так как он спрашивал именно о нем, не подозревая о существовании еще и первого доклада, а пленки из Госфильмофонда получать сложно, требуются многочисленные подписи, на что ушло много времени, а кроме того, наш водитель плохо ориентировался в московских улицах и долго ехал от дома звукозаписи до Института физпроблем. Во всяком случае, теперь музыка будет, и можно, и уже пора начинать доклад.

Наступил как раз тот момент моего повествования, когда следует окунуться в научную дебри и рассказать, наконец, физическую суть той идеи, вокруг которой все и закрутилось. Я расскажу это здесь не совсем так, как я в самом деле рассказывал на семинаре Капицы, а так, как это, пожалуй, следовало бы тогда сделать.

Вторая мировая война привела к бурному расцвету радиолокации, а когда война кончилась, созданная техника частично стала служить чистой науке. Благодаря этой технике создавалась новая область науки — радиоастрономия: исследование приходящего к нам на Землю радиоизлучения, определение координат и интенсивности его источников. Эта наука настолько пышно расцвела, что для ее задач стали создавать специальные уникальные инструменты — радиотеле-

скопы. Богатые американцы создали огромный радиотелескоп, у которого диаметр полноповоротного зеркала антенны составлял 300 метров! Это целый стадион, на котором можно проводить Олимпийские игры. Американцы были уверены, что поставленный ими рекорд по величине зеркала, а тем самым и по точности определения координат источников радиоизлучения, никем побит не будет, так как ни у кого в мире нет и не будет никогда таких денег, чтобы построить радиотелескоп еще большего размера. Действительно, никто не создал большего радиотелескопа, однако рекорд точности определения координат был в 1953 году побит Райлом в бедной старой Англии. Райл не строил гигантского телескопа, а получил тем не менее точность определения координат радиоизлучения в своем первом же опыте такую, как если бы он располагал антенной радиотелескопа, имеющей поперечник 1000 метров! Он придумал новый способ определения координат радиоисточников, который получил название апертурного синтеза Райла. Чтобы осуществить апертурный синтез Райла, достаточно иметь всего две малые антенны, сигнал с которых обрабатывается так, что из двух малых получается одна сколь угодно большая антенна. Для этого следует постепенно раздвигать две имеющиеся антенны, особым образом запоминая принятую ими информацию. Максимальное расстояние, на которое удается при этом раздвинуть антенны, определяет точность этого метода, позволяя приблизить ее к той, которая достигается с помощью радиотелескопа с полноповоротной антенной именно такого размера. Я был хорошо знаком с апертурным синтезом Райла, рассказывал его студентам, а также старался применить его в акустике, где он обещал, как мне казалось, открыть широкие возможности для уникальных исследований. Так как я практически применял процедуры апертурного синтеза, то я хорошо знал все формулы, на которых они строятся, и даже многие тонкости обработки. Эти же формулы используются и в голографии, так как апертурный синтез Райла может рассматриваться как одно из направлений голографии. Та информация, которую записывал Райл с двух антенн, являлась голограммой изображения радиоисточников. С появлением апертурного синтеза Райла стали известны уже два способа определения направления на источник волн. Основу первого составляет большая антенна, а второго — апертурный синтез. Иных возможностей человечество пока еще не знает, а может быть их и нет. Следовательно, подумал я, человек, с помощью своего слуха ориентирующийся в звуковом поле, тоже должен использовать один из этих способов, если никакого иного нет. У человека два уха, а апертурный синтез Райла тоже основан на использовании двух малых антенн, следовательно, вполне возможно, что человек использует для

ориентации в звуковом поле апертурный синтез Райла. Вот и вся идея. Основываясь на ней, я уже могу написать точные формулы, на основе которых человек обрабатывает информацию со своих двух ушей, а из этих формул выводить следствия, что человек должен слышать, а чего никак не должен. На этой основе была построена теория стереофонического звучания и предложены способы, позволяющие делать стереофонические сигналы из монофонических и улучшать качество звучания стереофонических. Все это подтвердилось на практике, однако если бы не подтвердилось, то это было бы гораздо лучше. Это говорило бы о том, что существует еще не известный науке третий способ ориентации в волновом поле, которым успешно пользуется человек и который должен быть и может быть открыт наукой.

И вот Петр Леонидович предоставляет мне слово для доклада. Перед тем как я начал говорить, он подошел к огромным часам, которые он привез с собой из Лондона, и поставил стрелку на 30 минут. Это означало, что ровно через 30 минут прозвенит звонок и доклад должен быть закончен — железный регламент, который являлся неотъемлемой частью семинара и соблюдался всегда. То, что я сильно нервничал перед этим из-за задержки машины, не успел собраться с мыслями и даже продумать свою первую фразу, не говоря уже о последующих, смущало меня гораздо меньше, чем существование жесткого получасового регламента. Мне тогда очень многое представлялось важным, существенным и совершенно необходимым для рассказа. Естественно, что мне хотелось изложить те соображения относительно больших антенн, апертурного синтеза и Райла, которые я привел выше. Не менее существенными мне представлялись тогда математические выражения, красивые и изящные, с помощью которых осуществлялся апертурный синтез. Важным я считал также понимание сходства и различия между апертурным синтезом Коха, Райла, голографией и алгоритмом бинаурального слуха в том виде, который придумал ему я. Надо было обязательно пояснить, почему Райл должен был раздвигать свои антенны, а человек почему-то не должен раздвигать свои уши для решения той же задачи по тем же формулам. Кроме этого надо было еще рассказать обязательно о стереофонии, что это такое и как можно на нее воздействовать, и о том, что будет демонстрироваться, на что необходимо обратить внимание, слушая музыку. Очень хотелось все это обязательно втиснуть в доклад, а ввиду жесткого регламента это могло не получиться, поэтому я все время находился в смущении и не мог решить, что же выкинуть. Решил начать рассказывать про все, но очень кратко, что вряд ли было хорошо в данном случае. Во время доклада существенную по-

мощь мне оказал сам Капица. Очевидно, он всегда очень внимательно слушает докладчика, вникает в суть того, что говорится в докладе, и старается вопросами и комментариями сделать доклад яснее и интереснее слушателям.

Стоило мне упомянуть апертурный синтез, как Капица во всеулышание выразил надежду на то, что сейчас все, наконец, узнают, что это такое — апертурный синтез. Это свернуло мой доклад с намеченного русла, заставив меня начать пояснять сущность апертурного синтеза, что я делать не собирался, так как полагал, что собравшиеся здесь физики и без меня это прекрасно знают. Когда же я написал формулу, согласно которой должна совершаться обработка информации, принятая двумя ушами, Петр Леонидович заметил, что эта формула, по-видимому, правильна, так как чувствительность слуха логарифмическая, а приведенная мной формула становится совсем простой, если ее логарифмировать. Такой возможности осуществления этой формулы ни мне и никому другому в голову не приходило, а я от неожиданности даже прервал доклад, чтобы обдумать неожиданно высказанное соображение. Наконец, когда до звонка оставалось не более 5 минут, я сумел кончить доклад, и заиграла музыка, которая в этот раз показалась мне великолепной. Звучал романс Шостаковича в исполнении оркестра солистов-скрипачей Большого театра. Слушая эту чарующую музыку, восхищаясь чистотой и качеством воспроизведения, я так наслаждался красотой этой мелодии, что забыл все волнения, которые только что пережил, успокоился и почувствовал восторг, соответствующий и вполне подходящий переживаемому мною моменту жизни. Мне казалось, что такая великолепная музыка обязательно должна приводить всех, не только меня, в восторг, а иначе и быть не может. Уже после доклада музыка звучала еще минут 15, а все слушали и никто не спешил уйти.

Потом было неожиданное продолжение, которое бывает только у семинара Капицы. Петр Леонидович всех присутствующих пригласил к себе в кабинет пить чай. На семинаре было не менее 200 человек, и все никак не могли поместиться в кабинете, но Капица настаивал на том, чтобы обязательно все шли пить чай. Здесь уже действовал неписанный строго соблюдаемый закон, по которому все участники семинара сами знали, кто должен идти чай пить, а кто не должен. В кабинете оказалось ровно столько народу, сколько было мест приготовлено для чая. Среди тех, кого специально пригласили пить чай в кабинет Капицы, был и я со своей супругой. И семинар продолжается. Петр Леонидович кое-что рассказывает и переводит разговор на тему, связанную с первым докладом, давая возможность при этом что-то рассказать и ответить на вопросы докладчику. Основным в

моем докладе Петр Леонидович, вероятно, посчитал музыку и отношение к ней ученых. Он рассказал такой эпизод. Как-то сам Петр Леонидович был в гостях, и туда же должен был прийти Эйнштейн. Всех предупредили, что Эйнштейн обязательно будет играть на скрипке, а играл он плохо. Великий ученый спокойно относился к критике своей теории относительности и ее при нем можно было ругать как угодно, но игру на скрипке критиковать было нельзя, так как это Эйнштейна очень огорчало, и хозяин дома всех очень просил этого ни в коем случае не делать.

Затем Петр Леонидович задал и мне ряд вопросов и дал возможность кое-что рассказать интересное дополнительно к докладу. Так закончился этот семинар, состоящий из двух частей.

Сейчас мне приходится бывать в том же институте и в том же зале. Здесь происходят общие собрания Отделения общей физики и астрономии Российской академии наук, членкором которой я теперь являюсь. Участвуя в собрании, я вижу тот же зал, те же часы, очень похожую общую дружелюбную и деловую обстановку и постоянно вспоминаю тот семинар.

Апрель 1994 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| РАЗВИТИЕ КОРАБЕЛЬНОЙ АКУСТИКИ<br>В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ .....                                       | 5  |
| КАК ЗАРОЖДАЛИСЬ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ<br>АКУСТИЧЕСКАЯ АНТЕННА И РАДИООПТИКА .....                     | 17 |
| К ИСТОРИИ СТАНОВЛЕНИЯ<br>МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ<br>В РАДИОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ ..... | 37 |
| К СТОЛЕТИЮ МАРИИ ТИХОНОВНЫ ГРЕХОВОЙ .....   | 51 |
| АЛЕКСАНДРА ГРИГОРЬЕВНА ЛЮБИНА .....   | 59 |
| ВСПОМИНАЯ АЛЕКСАНДРА НИКОЛАЕВИЧА БАРХАТОВА .....  | 64 |
| А. Н. МАЛАХОВ .....   | 68 |
| ВСПОМИНАЯ АЛЕКСАНДРА ИВАНОВИЧА ВЕСНИЦКОГО .....   | 72 |
| СЕМИНАР П. Л. КАПИЦЫ .....  | 75 |

---

Оригинал-макет подготовлен  
Редакционно-издательской группой ИПФ РАН

Отпечатано в типографии Института прикладной физики РАН,  
603950 Н. Новгород, ул. Ульянова, 46