

# Знаменитый разработчик радиотелескопов, волноводов, РЛС и радаров А.А. Пистолькорс

Андрей Кашкаров

Среди исследователей и разработчиков, стоявших у истоков разных областей современной электроники, есть много имён, известных лишь в научном сообществе. Тем не менее без них развитие отечественной радиоэлектроники было бы другим. В статье рассказывается о научном пути и результатах исследований доктора наук Александра Александровича Пистолькорса, как фундаментальных, так и прикладных, нашедших широкое применение в развивающихся областях науки и техники в XX веке и определивших на десятилетия вперёд прогресс в развитии радиотехники, электроники и связи. Метод наведённых ЭДС, принцип двойственности, теория связанных линий для передачи информации, оптические волноводы и фазированные антенные решетки, голографические линзы, фотонные кристаллы – их создание и совершенствование напрямую связано с Александром Пистолькорсом.

## Плодотворный путь учёного и педагога

В разные периоды Пистолькорс активно взаимодействовал с академиком А.И. Бергом и В.А. Котельниковым, Б.А. Введенским, А.Н. Шуклиным, А.Л. Минцом, А.А. Расплетиним, А.А. Харкевичем, Н.Д. Девятковым и многими другими, воспитал не одно поколение перспективных учёных, среди которых А.Л. Микаэлян, Л.Д. Бахрах, Б.И. Сапсович, Г.А. Евстропов (академики РАН) и другие. К слову, А.И. Берг был не только крупным учёным, но и заместителем министра обороны СССР в 60-х годах XX века. Поэтому неудивительно, что часть разработок учёных, в том числе Пистолькорса, много лет была засекречена. Постараемся приоткрыть эту тайну для читателей.

Александр Александрович Пистолькорс (10 октября 1896 г. – 23 марта 1996 г.) прожил яркую насыщенную жизнь: уважаемый учёный, родоначальник научной школы, внёсший значительный вклад в развитие радиотехники и связи, советский радиотехник, специалист в области антенной техники, член-корреспондент РАН (1946), заслуженный изобретатель РСФСР – автор 40 изобретений, часть из которых запатентована, оставил современникам выдающееся научное наследие. На рис. 1 представлен фотопортрет А.А. Пистолькорса.

## «Начало» и становление радиотехника из шотландского рода

Александр Александрович происходил из дворянского рода Пистолькорсов в Шотландии. «Пистолькорс» переводится как «пистолет крестом». Известная история рода свидетельствует, что многие Пистолькорсы прославились на военном поприще, а отец будущего учёного Александр Август Юлиус Пистолькорс закончил Московский университет, стал юристом, статским советником, чиновником Императорской канцелярии.

Сначала Александр Александрович обучался радиотехнике в Офицерской электротехнической школе в Санкт-Петербурге. Во время Первой мировой войны на Кавказском фронте служил начальником малой радиостанции. В Гражданскую войну в оккупированном интервентами Баку Пистолькорс более полугодом был радистом подпольной радиотелеграфной станции, державшей связь с новым советским правительством. За добросовестную службу отмечен наградами часами [4].

Стартовой площадкой для научной деятельности Пистолькорса стала знаменитая в то время Нижегородская радиолоборатория имени М.А. Бонч-Бруевича, где начинающий учёный изучал теорию и практически разрабатывал коротковолновые антен-

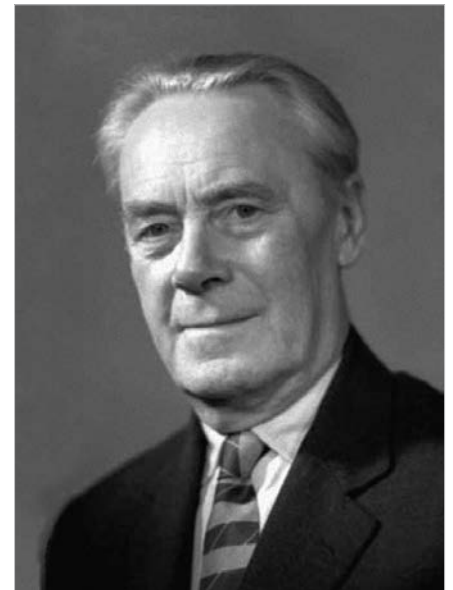


Рис. 1. Фотопортрет А.А. Пистолькорса

ны. Бонч-Бруевич лично руководил научной работой дипломного проекта А. Пистолькорса, разработавшего метод расчёта сопротивления излучения сложных коротковолновых антенн, впервые использовав метод наведённых ЭДС, получивший впоследствии широкое применение.

Можно записать в его заслуги изобретение метода расчёта сопротивления излучения с применением наведённых электродвижущих сил, признанный как в России, так и за границей. В это же время Пистолькорс пишет первые научные статьи.

На рис. 2 показан фотоснимок 1925 года, где А.А. Пистолькорс во втором ряду в центре с коллегами по Нижегородской радиолоборатории.

С 1923 по 1927 годы Александр – студент Московского высшего технического училища (МВТУ, ныне МГТУ имени Баумана). После закрытия лаборатории в 1929 году вместе с другими сотрудниками А.А. Пистолькорс переезжает в Ленинград и вплоть до эвакуации в 1942 году работает в Центральной радиолоборатории Электротехнического треста заводов слабого тока. В это время в исследованиях



Рис. 2. Архивный фотоснимок 1925 года. А.А. Пистолькорс во втором ряду в центре с коллегами по Нижегородской радиолaborатории имени М.А. Бонч-Бруевича

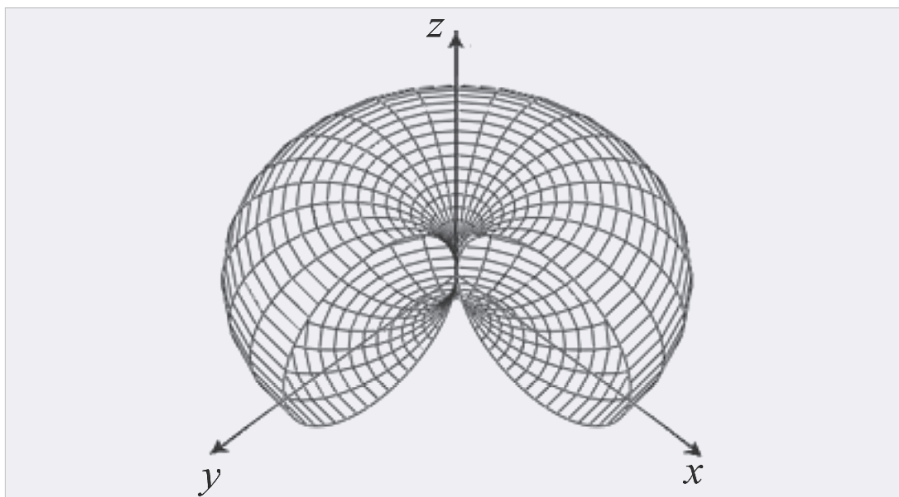


Рис. 3. Некоторые результаты открытого А. Пистолькорсом представления о формах излучения волнового кабеля

учёного уделялось внимание проблематике распространения радиоволн, особенно в связи с освоением КВ и УКВ диапазонов, а также созданию эффективных приёмных антенн. А.А. Пистолькорс предложил эффективный метод расчёта необходимого распределения тока в коротковолновой антенне по заданной диаграмме направленности, развил несколько фундаментальных методов в теории антенн. Его статьи по теме синтеза антенн ещё в 1929 году заслужили международное признание коллег.

На рис. 3 показаны результаты открытого Пистолькорсом представления о формах излучения волнового кабеля, а именно, пространственная ДН элементарного электрического вибратора.

Одновременно он преподавал в ленинградских вузах, с 1937 года в статусе профессора. Другим важным направлением этих лет, у истоков которого стоял Пистолькорс, стало исследование свойств гиротропных сред и развитие волновых ферритовых устройств. С 1945 года работал в Московском НИИ приборостроения и одновременно преподавал в Московском электротехническом институте связи. В 1961 году за выдающиеся работы в области радио удостоен Золотой медали АН СССР имени А.С. Попова.

Результаты исследований А.А. Пистолькорса применяются и сегодня, без них невозможно представить развитие современной радиоэлектроники. Результаты практико-ориентированных исследования учёного по приме-

нению многозеркальных антенн и ферритов в технике СВЧ и разработке двухзеркальных антенн и ферритовых устройств (вместе с учениками Л.Д. Бахрахом и А.Л. Микаэляном) в 1961 году были оценены на высшем государственном уровне и принесли Пистолькорсу Ленинскую премию СССР.

Успех развития радиолокационных систем в значительной степени был связан с разработкой антенно-волноводной СВЧ-техники, и А.А. Пистолькорс как научный руководитель возглавил фундаментальные и прикладные исследования в этой новой, быстро развивающейся области, уделяя особое внимание техническим направлениям СВЧ-техники.

В 80-е годы XX века А.А. Пистолькорс и до самой смерти занимался разработкой нового тогда направления в теории антенн: адаптивными антенными системами. В память Александра Александровича проводятся конференции и учреждена ведомственная медаль.

Учёный скончался в 1996 году на сотом году жизни, не дожив до векового юбилея несколько месяцев, а последнюю научную статью без соавторов самостоятельно написал в возрасте 97 лет.

Ещё до войны Александром Александровичем был спроектирован большой солнечный радиотелескоп для радиоастрофизической обсерватории Института солнечно-земной физики в 220 км от Иркутска. Позже под руководством А.А. Пистолькорса спроектированы и построены радиоцентры магистральной радиосвязи для Москвы, Иркутска и Комсомольска-на-Амуре, разработаны антенные устройства оборонного назначения, спроектирован большой крестообразный солнечный радиотелескоп, построенный вблизи Иркутска.

На рис. 4 показан радиотелескоп ТНА-1500, одним из разработчиков которого был А.А. Пистолькорс. Этот 64-метровый зеркальный радиотелескоп под шифром РТ-64 был установлен под Москвой для связи с космическими аппаратами. Позже Пистолькорс создал похожий сферический двухзеркальный телескоп.

Талант Александра Александровича раскрылся в голографии – одном из новых тогда направлений физики. Пистолькорса знают как автора фундаментальных работ о разре-



Рис. 4. Радиотелескоп ТНА-1500, одним из разработчиков которого был А.А. Пистолькорс

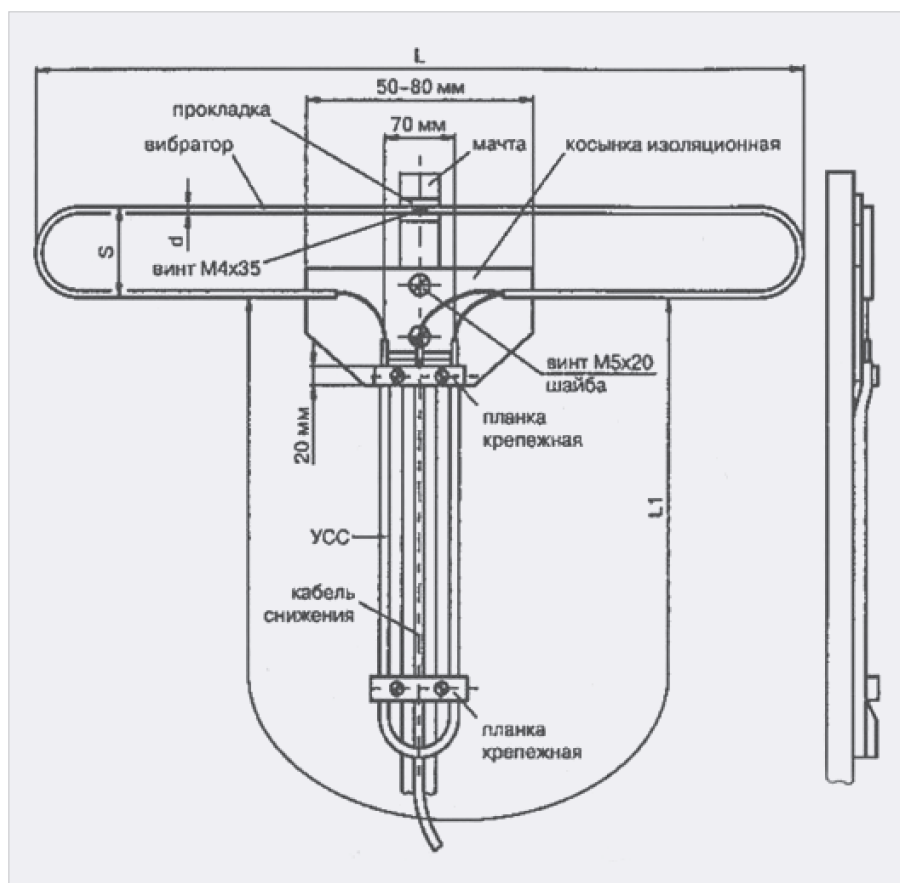


Рис. 5. Схема элементов шлейфа-вибратора Пистолькорса

шающих способностях голограммы. Интерес учёного к квантовой электронике и применению лазеров в радиопромышленности позволил создать при НИИ-17 научный центр. В 1946 году уже признанного специалиста в области антенно-фидерных устройств пригласили на работу в НИИ-17 (концерн радиостроения «Вега»). В те годы основным направлением «центра» была разработка

самолётных радиолокационных СВЧ-систем. Как научный руководитель А.А. Пистолькорс возглавил фундаментальные и прикладные исследования антенно-волновой СВЧ-техники. Тогда это направление науки было перспективным и бурно развивающимся.

Пистолькорс принимал участие в работе Межведомственного координационного совета по антенно-волновой технике, образованного по

его инициативе в 1960-е годы, и Межведомственного совета по квантовой электронике.

А.А. Пистолькорс – инициатор и бесменный руководитель семинаров по теории и технике антенн, организатор секции «Антенные сооружения» Совета по радиоастрономии АН СССР, почётный член НТОРЭС имени А.С. Попова. В 1959 году учёный избран членом IEEE, а в 1978 году ему присвоено звание пожизненного члена этого института. Учёный, педагог и практик награждён двумя орденами Ленина, орденами Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, «Знак Почёта» и многими медалями [4].

В 1980-е годы XX века Пистолькорс отличился в разработке и улучшении адаптивных антенных систем. Работы учёного и его учеников получили заслуженное признание в СССР и за рубежом. Пистолькорс разработал и ввёл в практику ряд новых типов антенн, в том числе согнутый вибратор (шлейф-вибратор Пистолькорса), применяемый в телевизионных приёмных антеннах и не только. Особое значение для создания радиопрозрачных обтекателей и укрытий антенн имеют исследования Александра Александровича по дифракции волн в диэлектрических слоистых структурах. На рис. 5 схематически показаны элементы шлейф-вибратора Пистолькорса.

Неудивительно, что его ученики стали ведущими специалистами в различных направлениях электроники. Он был талантливым педагогом, до конца жизни координировал работу научных конференций и выпуск изданий по теории и технике антенн, которые способствовали распространению новых знаний. Коллеги и ученики отмечали благожелательное отношение и поддержку Пистолькорса. При многих заслугах в жизни Александр Александрович был скромным человеком, не занимал высоких постов и отличался неприхотливостью в быту [1].

## Метод наведённых ЭДС, теория связанных линий и другие

Метод наведённых ЭДС и принцип двойственности – фундаментальные принципы в области электромагнетизма, применяемые в смежных областях. К примеру, метод наведённых ЭДС связан с расчётом индуктивности и измерением токов. Теория связанных линий для передачи информации

развивалась с участием Пистолькорса, Х.С. Блэка и других исследователей, работавших над улучшением передачи сигналов в XX веке, анализом и оптимизацией линий передачи информации в многожильных кабелях и линиях. А.А. Пистолькорс совместно с П.Н. Рамлау запатентовал схему турникетной антенны, состоявшей из двух взаимно перпендикулярных вибраторов, возбуждаемых со сдвигом фаз в  $90^\circ$ , а также предложил схему однонаправленного ответвителя для радиотехнических измерений и углового вибратора с ДН. Много современных разработок, в том числе связанных с волноводами и оптоволоконным способом передачи данных, базируется на результатах исследований этих учёных.

Современникам наиболее известна «схема Пистолькорса»: полезный сигнал после фазового модулятора возводится в квадрат, затем демодулируется, в результате достигается сжатие потоковых данных в несколько раз, что даёт повышение скорости передачи данных без фатальных ошибок.

С развитием эры цифровой связи эти возможности получили ещё более перспективное развитие. На рис. 6 показана «блок-схема Пистолькорса» – ОФМ на основе сравнения полярностей. Представлена иллюстрация формирования сигнала по методу сравнения полярностей, в которой для создания опорного напряжения используется схема Пистолькорса. Удвоение частоты устраняет манипуляцию фазы, поэтому возможна узкополосная фильтрация опорного сигнала, уменьшающая действие помех. Полоса фильтра не должна быть очень малой, чтобы с помощью корректировки опорного напряжения управлять фазовыми импульсами. При этом импульсное изменение фазового опорного напряжения не вызывает искажение модулированного сигнала. Это разные, хоть и смежные направления в электромагнетизме, связанные с особенностями источника излучения антенны, вибратора, создаваемому в эфире полю. Для решения профессиональных задач Пистолькорс использовал методы дискретизации и численного моделирования.

## Решённые проблемные вопросы

В результате в НИИ-17, впоследствии преобразованном в Институт

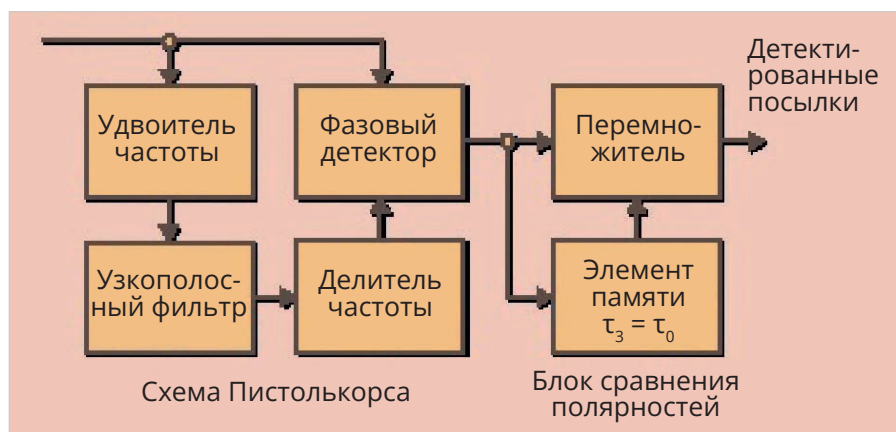


Рис. 6. «Блок-схема Пистолькорса» – ОФМ на основе сравнения полярностей

радиооптики, был создан мощный научный центр, имеющий в составе перспективных конструкторов по развитию и применению лазерной техники для нужд оборонной и радиопромышленности.

После создания первых лазеров появилось много предложений по их применению в разных областях науки и техники благодаря большой мощности лазерных установок в узком спектре и возможности реализации коротких по времени импульсов излучения.

Для электронных генераторов большой мощности принципиально важным параметром является высокая когерентность излучения. Первые лазеры использовали оптические резонаторы, размеры которых во много раз превышали длину волны. В результате одновременно возбуждается большое число собственных колебаний на разных частотах и со случайными фазами, что определяет низкую пространственную и временную когерентности. Диаграмма излучения получается «изрезанной», а в случае фокусировки размер «пятна» существенно превосходит дифракционный предел [2].

Отчасти поэтому усилия при разработке лазеров были направлены на поиск и создание эффективного метода селекции колебаний с меньшими потерями энергии, который может обеспечить генерацию лазерного излучения без заметного снижения мощности. Такой метод был заимствован из теории волноводных резонаторов, близких к «предельному», которым очень интересовался А.А. Пистолькорс. В результате был впервые реализован одномодовый (гелий-неоновый) лазер, имеющий дифракционную расходимость излучения, а позже – рубиновый одномодовый лазер, с помощью

которого впервые создана импульсная голограмма [3].

В начале 60-х годов был создан Межведомственный совет по квантовой электронике под председательством заместителя министра радиопромышленности, объединивший ведущих специалистов АН СССР и разных министерств для координации деятельности по развитию и применению лазерных установок в СССР. А.А. Пистолькорс принимал активное участие в работе совета.

## Работы по оборонной промышленности

После эвакуации из блокадного Ленинграда в Тбилиси учёный получил первые результаты, относящиеся к принципу двойственности в электродинамике и теории антенн, создал основы общей теории дифракционных антенн. Тогда же учёный написал монографию «Антенны», изданную в 1947 году и надолго ставшую учебником, настольной книгой для специалистов по антенной технике.

С 1940-х годов Пистолькорс с коллегами продолжают работы по созданию радиолокационных станций для обнаружения и сопровождения воздушных целей противника самолётами-истребителями при проведении воздушного боя в условиях отсутствия видимости. Так, уже к началу Великой Отечественной войны созданы радиолокационные станции дальнего обнаружения, такие как РУС-1, получившие дальнейшее развитие и стоявшие на вооружении подразделения связи и РЛС вплоть до конца XX века. Новые радиотехнические средства позволяли вести более точный огонь, а значит, более эффективно отражать атаки противника и экономить снаряды.

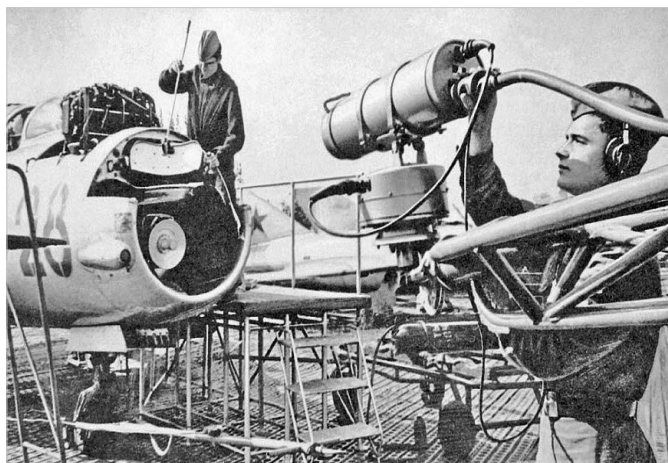


Рис. 7. Иллюстрация обслуживания и настройки антенного устройства РЛС РП-1 «Изумруд» на самолете МиГ-19П

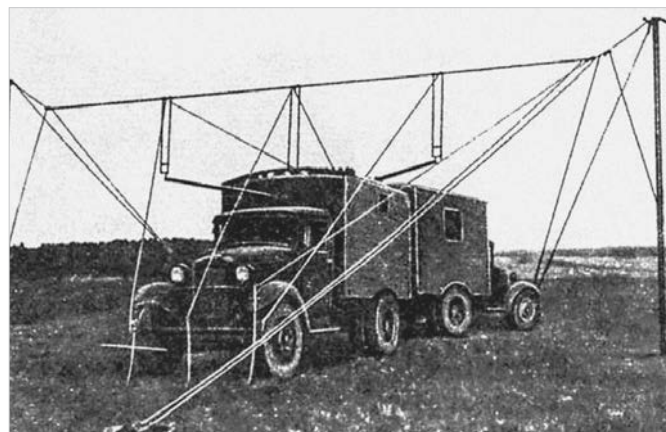


Рис. 8. Радиолокационная станция РУС-1, антенны для которой разрабатывались под руководством А.А. Пистолькорса

В ЦНИИС Министерства обороны Пистолькорс руководил созданием антенно-фидерных устройств для войск связи. При его активном участии созданы станции прицеливания «Торий-А» для самолета МиГ-15, станция «Аргон» для самолета Ту-16, станция «Изумруд» для самолетов МиГ-17П и МиГ-19П и другие. В 1950-е годы широкое развитие получает теория А.А. Пистолькорса о создании многозеркальной СВЧ-антенны.

На рис. 7 представлена иллюстрация обслуживания и настройки антенного устройства РЛС РП-1 «Изумруд» на самолете МиГ-19П.

Устройство могло совмещать функции обзора и прицеливания, что было особенно удобно для авиационной радиолокации. Многозеркальные антенны получили распространение в СССР и в мире в радиотехнических комплексах и в радиоастрономии.

На рис. 8 показана радиолокационная станция РУС-1, антенны для которой разрабатывались под руководством А.А. Пистолькорса.

## Результаты работы Пистолькорса в развитии электроники и смежных областей

Развитие радиотехники и микроэлектроники шло по пути освоения всё более высоких частот. Непрерывно возрастали требования к объёму и уровню подготовки радиоинженеров по электродинамике СВЧ, в частности, по теории электромагнитного поля (ЭМП). Теория электромагнитного поля – основополагающий раздел дисциплины «Электродинамика и распространение радиоволн», изучающий общие закономерности

макроскопических электромагнитных процессов.

Всё это происходило в начале 50-х годов XX века, когда техника СВЧ-систем и разнообразных применений в радиолокации и связи находилась на пике развития. Характерной особенностью развития СВЧ-техники явилось широкое использование методов классической оптики с линзами с переменным показателем преломления. Этому способствовало построение неоднородной среды, обеспечивающей преобразование волнового фронта. Метод явился основой развития градиентной оптики и привёл ученика Пистолькорса А. Микаэляна к идее самофокусирующего оптического волновода – селфока, теория которого была опубликована в 1951 году в «Докладах АН СССР» [2].

Только через 18 лет идея селфока была реализована экспериментально в Японии в виде оптического световода. Создание первого оптического волновода привело к развитию оптических линий передачи информации. Впоследствии по инициативе академиком А.М. Прохорова и Р.В. Хохлова явление самофокусировки в градиентной среде было зафиксировано в виде открытия и получило широкое признание за рубежом. В этой области разработанный Пистолькорсом с использованием функций Матье-Ганкеля способ получил широкую известность.

Помимо СВЧ-линзовых антенн с переменным показателем преломления, реализованных из «искусственного» диэлектрика, широкое развитие получила идея А.А. Пистолькорса по созданию многозеркальных СВЧ-антенн по типу двухзеркаль-

ных оптических телескопов, применяемых в астрономии. Это позволило, в частности, совместить функции обзора и прицеливания в одной антенне, что особенно важно для бортовых радиолокаторов и систем связи. А.А. Пистолькорс является признанным лидером в этой области электронной техники в нашей стране.

Не менее важным для совершенствования радиолокационных и радиорелейных систем связи явилось создание и развитие СВЧ-ферритовой техники. Оно началось необычно и инициировано общением А.А. Пистолькорса с академиком А.И. Бергом (заместителем министра обороны), который посетовал на неустойчивую работу РЛС и их элементов – радиолокаторов – в военной области.

Пистолькорс во взаимодействии с коллегами тогда обоснованно, приведя в пример эффект Фарадея и другие магнитооптические явления, доказал возможность изолировать генератор от воздействия волн, отражённых от антенны, и неоднородностей волноводного тракта. Это одна из малоизвестных заслуг учёного Пистолькорса в защите своей страны.

Затем А.А. Пистолькорс инициировал развитие нового научного направления, связанного с исследованием магнитооптических явлений в СВЧ-диапазоне и созданием отдельного класса волноводных устройств и первых экспериментальных образцов ферритовых вентилях. Благодаря инициативе Александра Александровича и пониманию конструкторами радиолокационных систем важности решения этой задачи теперь эти разработки известны широкому кругу специалистов в области волноводно-феррито-

вой техники. Так, многозеркальные антенны и волноводно-ферритные устройства зародились в нашей стране и затем были доведены до широкого практического применения.

А.А. Пистолькорс также инициировал разработку и применение ферритовых устройств в радиорелейных системах связи, которыми занимался НИИ Радио Министерства связи СССР.

Несмотря на бурное развитие техники СВЧ, в середине 50-х годов делались попытки продвинуться в ещё более коротковолновые (миллиметровый и субмиллиметровый) диапазоны волн, где обозначились перспективы изобретений на основе и с использованием остронаправленных диаграмм излучения при небольших размерах антенн. Однако в то время техника СВЧ не получила в СССР развития из-за трудностей создания волноводов с малыми потерями и других причин.

В середине XX века начала быстро развиваться отечественная наука и в области квантовой электроники – нового научного направления, связанного с использованием явления индуцированного излучения, для создания малошумящих усилителей – мазеров и когерентных источников излучения в оптическом диапазоне волн – лазеров.

Фундаментальные исследования в области квантовой электроники интенсивно проводились в США. Характерной особенностью фундаментальных исследований, проводимых параллельно в СССР, была направленность на конечную цель, то есть создание когерентного оптического генератора. Это и позволило в итоге успешно осваивать оптический диапазон волн для разнообразных практических применений.

Параллельно в ФИАН СССР под руководством А.Н. Прохорова и Н.Г. Басова проводились исследования мазеров и других вариантов малошумящих усилителей с использованием туннельного эффекта в полупроводниках, а также на нелинейных эффектах в ферритах, к изучению которых был подключён А.А. Пистолькорс и его ученик – будущий академик РАН А.Л. Микаэлян.

В 1960 году уже появился первый лазер на рубине, что открыло возможности освоения оптического диапазона волн и новых направлений исследований, связанных с применением лазеров.



Рис. 9. Награждение А.А. Пистолькорса орденом Ленина в 1986 году

В середине XX века специалисты в области радиолокации и связи прохладно относились к перспективе использования оптического диапазона волн, в том числе из-за расчётных больших потерь при распространении волн в атмосфере. Этому «научному пессимизму» способствовали несколько факторов: отсутствие оптических волноводов для передачи информации, низкая эффективность лазеров, шумовые ограничения при приёме и другие. Многие учёные считали развитие лазерной техники нецелесообразным. Но не А.А. Пистолькорс, внимательный к деталям, обладавший чутьём и принципиальным характером. Он, напротив, увидел перспективы применения квантовых генераторных устройств – лазеров (КГУ). В результате продолжающихся исследований к концу 1961 года создана экспериментальная установка для исследования лазеров.

Помимо проработки очевидных применений (авиационные дальнометры на твердотельном лазере, фазовые высотометры на полупроводниковом лазере, авиационная система разведки местности на аргоновом лазере), которые в дальнейшем успешно внедрялись в виде самостоятельных промышленных разработок, новые предложения разработчика Пистолькорса базировались на использовании доплеровского смещения частоты (в оптическом диапазоне на несколько порядков больше,

чем в радиодиапазоне) для повышения точности измерения скорости и других навигационных характеристик [2]. А также его работы связаны с лазерными и голографическими методами записи и обработки информации. На рис. 9 представлен фотодоклад – награждение А.А. Пистолькорса орденом Ленина в 1986 году.

Таким запомнился учёный с мировым именем, стоявший у истоков фундаментальных исследований в области электромагнитных излучений, которые нашли широкое применение при создании фотонных кристаллов и фазированных антенных решёток.

## Литература

1. А.А. Пистолькорс – выдающийся учёный XX века в области радиотехники и связи. URL: <https://www.computer-museum.ru/connect/pistol Kors.htm>.
2. Александр Пистолькорс – патриарх радиотехники. URL: <https://rostec.ru/media/news/aleksandr-pistol Kors-patriarkh-radiotekhniki/#end>.
3. Микаэлян А.Л., Коровицын А.В., Наумова Л.В. Одномодовый (гелий-неоновый) лазер с дифракционной расходимостью излучения // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики, ЖЭТФ. 1965. Т. 2, вып. 1.
4. Пистолькорс Александр Александрович. URL: [https://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT\\_ID=4590534](https://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=4590534).

