

## **ГЛАВА 3**

### **ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

#### **РАДИОМЕТРИЯ СРЕД. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ**

*к.т.н. Фертман Д.Е., д.т.н., проф. Чебышов С.Б.*

На протяжении уже нескольких десятилетий радиометрические методы и приборы занимают лидирующие позиции среди самых разных методов измерений в ядерной физике. Согласно принятому в отрасли определению радиометром называется прибор, предназначенный для измерения энергетических характеристик излучения, в том числе плотности потока частиц или фотонов, объемной или удельной активности радионуклидов в аэрозолях, газах, жидкостях.

В настоящее время около 80% всех радиационных измерений так или иначе основаны на применении методов радиометрии. Значительная часть исследований и разработок СНИИПа на протяжении всей его многолетней истории была и остается связанной с созданием радиометрической аппаратуры для работы в самых различных условиях – от космоса до океанских глубин и шахт.

Мир с начала ядерного века, с момента первых ядерных испытаний пережил достаточно катаклизмов и несколько крупномасштабных ядерных катастроф. Последовавшие за этим фобии, сформированные либо недостатком, либо переизбытком информации о радиационной опасности и безопасности, привели к широкому распространению приборов для массового контроля радиоактивного загрязнения. Правда, в большинстве своем это простые и по конструкции, и по обращению дозиметры, сигнализирующие об отклонении радиационного фона от естественных для данной местности значений.

С контролем загрязнения воздуха, воды или сыпучих веществ с аппаратурой все обстоит гораздо сложнее. Практически этим занимаются только профессионалы в данной области. Для работы им нужны измерительные приборы. Прежде чем их создавать, необходимо определить область измерений, объекты измерений, условия, периодичность измерений, измеряемые физические величины, мешающие факторы и их допустимые уровни, соотнесенные с действующими нормами и установленными правилами. Кроме того, должны быть четко сформулированы требования ко всем показателям назначения создаваемой аппаратуры, и, в первую очередь, к диапазонам измерений и допустимым погрешностям.

При этом необходимо отметить: данное направление является только одним из направлений деятельности СНИИПа, оно формировалось в ЦКБ-1 с 1953 г. для различных объектов министерства обороны и атомной отрасли, под руководством ведущих специалистов нашего института: Б.В. Немировского и М.Н. Пчельникова. Позже, уже для нужд предприятий атомной отрасли и атомных станций, долгие годы оно успешно развивалось, «обрастая» новыми методами и метрологией, в подразделении, которое в разные годы возглавляли: К.П. Марков (1965 - 1968 гг.), Л.В. Артеменкова (1969 – 1985 гг.) и Н.В. Рябов (1985 – 1995 гг.).

Контроль радиационной обстановки (КРО) на радиационных объектах (в современной терминологии – объекты использования атомной энергии – ОИАЭ), должен

производиться в соответствии с требованиями НРБ-99/2009 и других нормативных документов. Он является неотъемлемой частью системы обеспечения радиационной безопасности, цель которой - охрана здоровья людей от воздействия источником ионизирующих излучений и поддержание работы радиационного объекта и его отдельных технологических систем в рамках оптимального технологического регламента. Этот вид контроля включает в себя радиометрические и дозиметрические измерения, осуществляемые приборами и автоматизированными системами.

К настоящему времени сложилась стройная классификация радиометрической аппаратуры:

А) по контролируемому радиационному параметру:

- для контроля поверхностной активности радионуклидов;
- для контроля объемной активности радиоактивных аэрозолей;
- для контроля объемной активности радиоактивных газов;
- для контроля объемной активности радионуклидов в воздухе;
- для контроля удельной активности радионуклидов в жидкостях;
- для контроля удельной активности радионуклидов в пробах;
- для контроля активности радионуклидов, содержащихся в организме, органе;
- для контроля плотности радиоактивного загрязнения почвы;
- для контроля двух и более параметров, обеспечиваемых средствами одной функциональной группы (комбинированные).

Б) по виду ионизирующего излучения:

- для контроля альфа-излучения;
- для контроля электронного (бета-) излучения;
- для контроля фотонного излучения;
- для контроля смешанного излучения.

В) по назначению при эксплуатации:

- средства измерения (СИ);
- индикаторы.

Г) по временному характеру контроля:

- для непрерывного оперативного контроля;
- для эпизодического (инспекционного) контроля;
- для периодического (текущего) контроля.

Д) по исполнению, связанному с местом размещения и способом применения при эксплуатации:

- стационарные (в том числе лабораторные);
- переносные;
- средства для индивидуального контроля;
- носимые, включая передвижные или подвижные (в том числе и для аварийных ситуаций).

Стационарные средства измерения и автоматизации для непрерывного контроля радиационной обстановки подразделяются на:

- одноканальные;
- многоканальные (от двух и до любого числа каналов).

Е) по методу и способу контроля параметров:

- непосредственного контроля (погружные, проточные, с измерением в геометрии

- «над зеркалом», для измерения в радиационных полях протяженных объемных источников;

- для контроля с отбором и подготовкой проб;

- для контроля

Периодичность контроля определяется в зависимости от прогнозируемого или реально зафиксированного состояния радиационной обстановки. Автоматизированные системы должны обеспечивать контроль, регистрацию, отображение, сбор, обработку, анализ, хранение получаемой информации и выдачу отчетной информации, а также сигнализацию о превышении заданных уровней параметров, характеризующих радиационную обстановку. Таким образом, можно утверждать, что к настоящему времени сформирован оптимальный набор требований к составу контролируемых радиометрических параметров, диапазонам радиационного контроля, и, соответственно, типам приборов.

Если обратиться к истории вопроса, то в 1950-е годы, период становления СНИИПа, действовали «Санитарные правила и нормы работы с радиоактивными изотопами», которые были утверждены в апреле 1953 г., и «Инструкция по учету хранению, удалению и транспортировке искусственно радиоактивных препаратов на предприятиях и в учреждениях», утвержденная в феврале 1955 г.

Предельно допустимые уровни ионизирующих излучений ПДУ 1960 позднее были откорректированы в соответствующих «Санитарных правилах». Отдельно оформленные санитарные правила для атомных станций (СП АЭС) появились в 1974 г. под названием «Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных электростанций (ПРБ АЭС)». Практически одновременно были выпущены и соответствующие правила ядерной безопасности для АЭС. Следует подчеркнуть, что большую работу при создании этих документов внес сотрудник СНИИП к.т.н. В.П. Григоров – специалист в области аэрозолей. Это был первый, но далеко не единственный вклад СНИИПа в формировавшуюся в те годы нормативную базу Госатомнадзора (ныне – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору в составе РОСТЕХНАДЗОРА). Чуть позже СНИИП делегировал в Госатомнадзор одного из своих ведущих конструкторов О.И. Кажарского, который впоследствии на протяжении многих лет и со знанием дела осуществлял строгий контроль продукции предприятия.

Тогда же, в 50-60 годах XX века, были сформулированы и основные принципы радиационного (в терминах того времени - санитарно-дозиметрического или просто дозиметрического) контроля в целом, требования к контролю радиационной обстановки на предприятиях и вокруг них.

Несмотря на наличие концептуальных сдвигов и происходящей эволюции всей международной и национальной системы обеспечения радиационной безопасности в свете новых рекомендаций Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) и Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), основные задачи, принципы и подходы к организации и проведению радиометрического контроля различных сред для целей дозиметрии и КРО остаются практически неизменными и мало изменились по сравнению с принятыми в 1959 г. Так, в «Санитарных правилах» того времени говорилось:

*«Работы по получению и применению радиоактивных веществ и различного рода источников ионизирующей радиации, а также по удалению и обезвреживанию*

*активных отходов имеют специфические особенности, отличные от обычных работ с неактивными химическими веществами. Эти особенности обусловлены радиоактивными свойствами элементов, способностью при распаде испускать соответствующие виды излучения ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), которые обладают вредным биологическим действием.*

*Вредное воздействие излучений на организм может быть при внешнем облучении тела и при попадании радиоактивных веществ внутрь организма, где основную опасность представляют,  $\alpha$ - и  $\gamma$ -излучения.*

*В зависимости от дозы и времени воздействия те или иные изменения могут проявляться сравнительно рано или в более отдаленные сроки. Радиоактивные вещества способны накапливаться в живых организмах и сорбироваться различными материалами. Ионизирующие излучения не могут быть обнаружены органами чувств человека, как это наблюдается при наличии других токсических веществ, например, раздражающих газов и др.*

*Количественно измерить и качественно определить радиоактивные вещества в воздухе, почве, воде или на какой-либо поверхности можно только с помощью специальных регистрирующих приборов, например, различного рода дозиметров, камер Вильсона, счетчиков Черенкова, фотопленок и др.*

*В целях охраны здоровья лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений, а также для предупреждения вредного влияния на здоровье населения радиоактивных отходов, удаляемых из учреждений, где применяются радиоактивные изотопы, требуется четкая организация и систематическое проведение санитарно-дозиметрического контроля за безопасными условиями труда и чистотой внешней среды вне пределов указанных учреждений».*

*При работе с радиоактивными веществами и источниками санитарно-дозиметрический контроль необходимо проводить систематически в основных, смежных и вспомогательных помещениях, на рабочих местах постоянного и временного пребывания персонала, в условиях нормальной работы и в период наладочных, ремонтных работ и ликвидации аварий. Также выдвигались требования:*

*«В зависимости от характера работы и источников излучений проводят измерения дозы ионизирующего излучения, определяют содержание радиоактивных газов, аэрозолей в воздухе, используя при этом стационарные установки и переносные дозиметры.*

*При работе с радиоактивными веществами в открытом виде, например, со светящимися красками, объем работ по санитарно-дозиметрическому контролю увеличивается. В этом случае контролируется доза  $\gamma$ -излучения, создаваемая в рабочем помещении, а также концентрация в воздухе радиоактивных аэрозолей (радий, продукты распада радона) и газа (радон), уровни загрязненности кожных покровов, спецодежды, пола, оборудования и др. Следовательно, во всех случаях до начала проведения тех или иных исследований необходимо выяснить, с какими радиоактивными и токсическими веществами проводится работа; каков характер работы с ними, какие уровни активности препаратов на рабочих местах. Установить вид излучения, его энергию, период полураспада, в каком агрегатном состоянии могут поступать в воздух радиоактивные вещества (газообразном, парообразном или в виде аэрозолей). Уточнить возможные источники поступления радиоактивных веществ. Определить, какие имеются условия для загрязнения кожных покровов, одежды, поверхностей и др.».*

Тогда же было сформулировано требование о том, что после ознакомления с характером работы и руководствуясь целевой установкой обследования следовало предварительно составить конкретный план с указанием вида и объема необходимых измерений, установить места отбора проб воздуха и др. План проведения обследования составлял промышленно-санитарный врач совместно с физиком-дозиметристом; при необходимости привлекался к работам химик и специалист по вентиляции.

Санитарно-дозиметрический контроль должен был проводиться регулярно, чтобы можно было своевременно выявить те или иные изменения и быть уверенным в надежности защиты, работы вентиляции, герметичности перчаток и других средств радиационной безопасности. Санитарно-дозиметрический контроль чистоты внешней среды необходимо было проводить там, где появляется возможность ее загрязнения жидкими, твердыми или газообразными отходами учреждений, работающих с радиоактивными элементами.

Таким образом, основные цели, задачи и идеи по организации и проведению контроля в целях радиационной безопасности персонала и населения были сформулированы и введены в действие в 50-60 годах XX столетия и трансформировались вместе с развитием ядерных технологий, а также технологий обеспечения их надежности и функциональной безопасности. Они изменялись вследствие совершенствования представлений международного научного сообщества о механизмах воздействия ионизирующего излучения на организм человека, по мере накопления статистических данных об условиях и долговременных последствиях работы персонала предприятий атомной промышленности, а также на основе горького опыта ликвидации радиационных аварий и катастроф.

Именно в процессе ликвидации последствий радиационных аварий и катастроф, и, в особенности Чернобыльской, МАГАТЭ, а позднее национальными комиссиями по радиационной защите (МКРЗ и НКРЗ, соответственно) были сформулированы общие принципы защиты населения в случае ядерной аварии, проявилось и вошло в практику понятие массового радиационного контроля проб окружающей среды, продукции животноводства и растениеводства.

Большую роль в формировании нормативной базы и решении связанных с этим понятием измерительных задач сыграли руководители и ведущие сотрудники СНИИПа В.В. Матвеев, К.Н. Стась, Л.В. Артеменкова, Б.В. Поленов, Н.В. Рябов, А.В. Федоровский Ю.П. Бачурин А.В. и др.

Для достижения требуемого уровня аппаратуры массового контроля на приборном уровне был решен целый ряд важных методических вопросов:

- разработаны технологии измерения низкоактивных проб по бета-излучению и избирательной радиометрии проб  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  по гамма-излучению на фоне естественного радионуклида  $^{40}\text{K}$  и при снижении влияния внешнего фона;
- разработан способ определения чувствительности радиометров при измерении проб различной конфигурации, в том числе «толстых» (объемных) проб окружающей среды по бета-излучению, обеспечивающих экспрессность измерений;
- были созданы эталонные объемные источники для градуировки и поверки таких средств измерений.

Вероятно, впервые в послечернобыльский период разработчики таких приборов столкнулись со сложными эргономическими задачами, связанными с необходимостью совместить максимально простой приборный интерфейс с высокими метрологическими характеристиками, приемлемыми массогабаритными и стоимостными параметрами и

конечно надежностью. В той или иной степени, и эти задачи были успешно решены благодаря применению оригинальных решений и разумных компромиссов, предложенных, в том числе, ведущими специалистами СНИИП.

Таким образом, радиационная безопасность и радиационный контроль – неделимые части одной области человеческой деятельности (друг без друга они часто теряют смысл), которая по сути своей, по базовым ценностям и реализуемым основным целям на каждом этапе своего развития демонстрировала и демонстрирует свойства социально-культурологического феномена. Его социальная ориентированность очевидна и определяется не только ценой человеческой жизни и материальными затратами, но и неизмеримыми материальными и нравственными потерями в случае ядерных аварий и катастроф.

В культурологическом плане этот феномен интегрировал опыт людей, который воплощается в специфических нормах, законах и чертах их деятельности, передаётся из поколения в поколение... Можно еще раз подчеркнуть высочайший уровень технической культуры людей, которые на предприятиях и атомных станциях занимались и занимаются вопросами радиационной безопасности и от квалификации которых зависит удержание человеческого фактора в тех границах, которые позволяют делать сложную работу безаварийной.

### **ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ: ДО И ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

*д.т.н. Поленов Б.В.*

Обеспечение радиационной безопасности при ликвидации последствий аварии (ЛПА) на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) сразу стало серьезной проблемой. Это было связано с необходимостью радиационного контроля очень большого контингента ликвидаторов, проведением измерений на большой территории, широким диапазоном мощности дозы (от природного радиационного фона до сотен и более Р/ч), воздействием на ликвидаторов фотонного - (гамма -), бета -, альфа - и нейтронного излучения, большим разнообразием типов применяемых приборов и детекторов в них, разной чувствительностью детекторов и разной энергетической зависимостью чувствительности («ходом жесткости»), разной толщиной экранов детекторов и корпусов блоков детектирования, различным метрологическим обеспечением.

Каждый прибор имел свое первоначальное назначение, свою особенность проведения измерений и свою погрешность измерения. В них использовались разные величины, системные и внесистемные единицы измерения: поглощенная доза (рад, Гр), экспозиционная доза (рентген, Р), биологический эквивалент рентгена (бэр). Это не обеспечивало единства измерений. Многие приборы не предназначались для работы в зонах, где проводилась ликвидация последствий аварий (ЛПА).

При ЛПА на ЧАЭС принимали участие сотрудники атомной станции, свидетели и жертвы аварии, непосредственно ликвидаторы, командированные на ЧАЭС, военнослужащие (включая вспомогательный персонал), сотрудники УС-605. Все они представляли 15 министерств и ведомств. Ряд организаций, участвующих в ЛПА, имел свои самостоятельные службы индивидуального дозиметрического контроля (ИДК). Общая численность участников ЛПА на ЧАЭС в 1986 г. составляла около 176 тыс., в том

числе 62 тыс. военнослужащих. В последующие годы численность достигала 300 тыс., в том числе военнослужащих - 130 тыс. К контингенту участников ЛПА добавились персонал ПО «Комбинат», персонал объекта «Укрытие» и Комплексной экспедиции. Из-за этого научно-методическое обеспечение работ в области ИДК в начальной стадии ЛПА оказалось затрудненным.

Необходимо отметить, что до аварии на ЧАЭС Министерством среднего машиностроения (Средмаша, в дальнейшем Минатомом) на пяти серийных заводах, а также на заводах и производствах других ведомств было выпущено несколько десятков тысяч различных типов изделий ядерного приборостроения гражданского и военного назначения. Многие из них были разработаны специалистами СНИИПа. Однако теперь номенклатура изделий и их количество оказалось недостаточными.

**Индивидуальный дозиметрический контроль** внешнего облучения ликвидаторов в основном обеспечивался Лабораторией индивидуального дозиметрического контроля. Определяющим фактором радиационного воздействия на участников ЛПА явилось гамма- и бета- излучение.

Одним из основных технических средств для определения доз внешнего облучения персонала стал разработанный в СНИИПе Комплект дозиметров термолюминесцентных КДТ-02. Этот комплект предназначался для измерения экспозиционной дозы гамма-излучения и индикации бета-излучения. В состав комплекта входили набор дозиметров ДПГ-02, ДПГ-03 и ДПС-11 (кассеты), устройство преобразования термолюминесцентное УПФ-02 и облучатель детекторов.

В состав входили три поликристаллических детектора на основе лития фтористого и три поликристаллических детектора на основе бората магния. Диапазон измерения экспозиционных доз дозиметров находился в пределах от 0,005 – 0,1 до 100 – 5000 Р. Время снятия показаний с одного детектора составляло около 75 с, а с трёх детекторов – не более 7 мин.

В зависимости от комплектности поставки в состав прибора КДТ-02 могло входить как по 100, так и по 1000 различных дозиметров. При наличии дополнительного блока на основе комплекта КДТ-02 была возможна организация пульта дозиметриста УОЦ-14, работа которого, а также запись, обработка, хранение дозиметрической информации и номера оператора осуществлялись микро-ЭВМ.

С помощью 12 комплектов КДТ-02, снабженных дополнительными партиями детекторов, был обеспечен текущий и аварийный дозиметрический контроль несколько десятков тысяч гражданских и военных ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС. В то же время, к недостаткам дозиметров ДПГ-02, ДПГ-03 и ДПС-11, входящих в состав комплекта КДТ-02, следует отнести гигроскопичность и так называемую «сыпучесть» поликристаллических детекторов, что приводило к необходимости периодического протирания оптической системы комплекта, отсутствие у дозиметров ДПГ-02 и ДПГ-03 дополнительных экранов, не герметичность кассеты дозиметра и ненадежность булавки для ношения кассеты на спецодежде ликвидатора.

В модернизированных в конце 80-х годов комплектах КДТ-02М нашли применение монокристаллические корундовые детекторы на основе оксида алюминия, тонкие поликристаллические на основе бората магния и сернистого кальция, а также монокристаллические гамма-нейтронные детекторы на основе фторида лития и фтористого лития.

Для ИДК применялись конденсаторные прямо показывающие и «слепые» дозиметры карандашного типа, в которых в качестве детектора использовалась ионизационная камера. Диапазон измерения таких дозиметров составлял 1-1,5 десятичных порядка, а максимальное значение измеряемой дозы находилось в пределах от 0,1 до 30 бэр. В их состав входило зарядное устройство, которое поставлялось на комплект из 10 – 100 дозиметров.

Применявшиеся «слепые» дозиметры карандашного типа Д-2Р имели диапазон измерений от 5 мР до 5 Р и основную погрешность  $\approx$  20 %. Саморазряд в нормальных условиях составлял 5% за 48 ч. Время снятия показания с дозиметра около 5 с. Обмер дозиметров (снятие показаний и кода номера) осуществлялся с помощью устройства УИ-27. В приборе было использовано магнитное кодирование индивидуального номера дозиметра. Была предусмотрена работа блока УИ-27 с микро-ЭВМ.

Специалисты СНИИП<sup>2</sup>а разработали рекомендации по применению специальных экранов с толщиной 1 г/см<sup>2</sup> для уменьшения погрешности дозиметров Д-2Р, ДПГ-02 и ДПГ-03 в больших полях бета-излучения, характерных для радиационной обстановки в 30-ти километровой зоне ЧАЭС. Они также приняли участие в создании Объединенного межведомственного дозиметрического Центра.

**Оперативный и групповой дозиметрический контроль** обеспечивался с помощью электронных прямо показывающих дозиметрических приборов и сигнализаторов-индикаторов. К ним, в частности, относились портативные сигнальные дозиметры с детекторами на газоразрядных счётчиках СБМ-21 («Стриж»): индикатор ДРС-01, комбинированный дозиметр ДКС-04, а также дозиметр ДЭС-04.

Наличие двух режимов работы («ПОРОГ» и «ПОИСК»), звуковой и световой сигнализации обеспечивал оценку уровня мощности экспозиционной дозы фотонного излучения, а также обнаружение и оценку плотности потока фотонов, бета-частиц и тепловых нейтронов.

Комбинированный дозиметр ДКС-04 позволял измерять мощность экспозиционной дозы фотонного излучения (при времени набора и вывода информации около 4 с) и экспозиционную дозу. Дозиметр ДКС-04 с помощью сигнализации, как и прибор ДРС-01, обеспечивал обнаружение и оценку плотности потока фотонов, бета-частиц и тепловых нейтронов.

Дозиметр ДЭС-04 обеспечивал измерение экспозиционной дозы и имел такой же режим сигнализации, как и приборы ДРС-01 и ДКС-04.

Преимущество приборов ДРС-01, ДКС-04 и ДЭС-04 – малые габаритные размеры и масса, наличие звуковой и световой сигнализации, возможность определять с помощью сигналов уровень мощности дозы или полученную дозу, обеспечивать измерение мощности дозы и/или дозы в реальном времени (приборы ДКС-04 и ДЭС-04), а также предупреждать человека о возможности случайного облучения при увеличении уровня радиации или вхождении в неконтролируемую зону. Для защиты корпусов приборов от загрязнения радиоактивными веществами в комплект дозиметров входили чехлы из тонкого полиэтилена.

К недостаткам электронных дозиметрических приборов «Стриж» следует отнести низкую чувствительность примененного счётчика Гейгера и небольшой диапазон измерения мощности дозы, что не позволяло измерять малые уровни гамма-фона и большие уровни радиации. В дальнейшем эти недостатки удалось устранить в модификациях электронных дозиметров ИР-02, ДРГ-01Т1, ДКГ-01И, МКС-09, в дозиметрах

ДЭГ-08, УД-01 («Стриж-Ц») и других, а также в поисковых дозиметрах- радиометрах ИРД-02 и МКС-08П («Навигатор»), в которых в качестве детекторов были применены более чувствительные счетчики.

Измерение мощности дозы в помещениях и на открытой территории в широких пределах проводилось с помощью гражданских и армейских переносных дозиметров, установленных на подвижных объектах: ДП-5, СРП-68, ИМД-1 («Кижуч»), КДГ-1 и КДБ-1 («Котик»), ИМД-12 («Пикша»), ИМД-21БА («Нерпа»), ИМД-31 («Зубарь»), М-341А («Омуть»), ДМГ-01Н («Киржач») и др.

Например, носимый дозиметр ДМГ-01Н обеспечивал измерения мощности поглощенной дозы в воздухе в пределах от 0,3 до  $10^4$  сГр/ч при энергии фотонов от 0,08 до 3 МэВ с основной погрешностью  $\approx$  15%. Детектор прибора – малогабаритная ионизационная камера объёмом 110 см<sup>3</sup>, был установлен на раздвижной штанге длиной до 3 м. Это давало возможность проводить измерения в труднодоступных местах при снижении дозовой нагрузки ликвидатора. Прибор хорошо себя зарекомендовал не только при измерениях на местности, но и с вертолёта.

Недостатком широко применяемого в Чернобыле сцинтилляционного геологоразведочного радиометра СРП-68 был тонкий экран детектора, необходимый для поиска урановых месторождений. Наличие такого детектора приводило к регистрации и гамма- и бета-излучения и ошибкам в интерпретации показаний СРП-68 и приборов, имеющих более толстые экраны. Для устранения этого недостатка в СНИИП<sup>е</sup> был разработан дополнительный специальный экран сцинтиллятора.

**Контроль внутреннего облучения.** Определяющим фактором внутреннего облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС являлось ингаляционное поступление радиоактивных веществ (аэрозолей). Применявшийся до аварии контроль содержания радиоактивных нуклидов в теле персонала предусматривал его обследование в крупных исследовательских и медицинских центрах, а также на АЭС, оснащенных стационарными высокочувствительными счетчиками излучения человека (СИЧ).

В мае 1986 года сотрудниками СНИИПа с помощью счётчика излучения человека РИГ-02С было обследовано около 600 специалистов, ликвидаторов и лиц, проживавших в 30-ти километровой зоне. При этом были выявлены случаи, когда активность нуклида <sup>131</sup>I оказывалась в пределах от 1 до 10 мКи.

В качестве счётчика излучения человека также широко применялся радиометр РУБ-01Пб. Сотрудники СНИИПа выпустили временные методические указания по измерению этим прибором содержания <sup>137</sup>Cs и <sup>134</sup>Cs в организме человека. Однако в дальнейшем использовать такой подход в условиях массовых обследований стало нереально и применение этого радиометра пришлось прекратить.

В период ЛПА на ЧАЭС совместными усилиями СНИИПа, НИИ гигиены морского транспорта (НИИГМТ) и рядом зарубежных фирм были созданы передвижные лаборатории контроля внутреннего облучения человека на базе железнодорожных вагонов, автобусов, автомобилей. Они были оснащены установками СИЧ разной сложности. Например, в состав подвижной лаборатории НИИГМТ на шасси грузового автомобиля входили сцинтилляционный и полупроводниковый СИЧи, а также СЭГ-01Т и СЕГ-02Т.

Дальнейшим шагом, предпринятым в 1989 – 1992 гг., были разработанные в СНИИПе подвижные лаборатории радиационного контроля (ПРЛ-ЧАЭС) на базе шасси

автомобиля ГАЗ-66. В ПРЛ-ЧАЭС предусматривалось применение радиометра фотонного излучения РУБ-01П6 в режиме счётчика излучения человека. При этом использовались две геометрии измерения – блок детектирования, извлечённый из защиты, размещался в складке живота и блок детектирования, находившейся в своей защите, со снятыми верхними крышками, который «просматривал» тело сидящего человека снизу. Обе геометрии измерения были аттестованы. В 1991 – 1993 г.г. СНИИПом были изготовлены и поставлены в НПО «Припять» и на Чернобыльскую АЭС три такие лаборатории, а в ПО «Маяк» и на Калининскую АЭС – по одной лаборатории.

По распоряжению Президента РФ от 14 января 1992 года № 19 коллектив специалистов СНИИПа в конце 1992 г. изготовил Международную передвижную радиоэкологическую лабораторию. Ее создали в соответствии с Соглашением о благотворительном даре детям Чернобыля, подписанным в Париже 26 апреля 1991 г. представителями МХО «Интератоминструмент» (Варшава), ВО «Изотоп» и компании «Нарде» (Франция). В осуществлении совместного проекта помимо СНИИПа приняли участие вышеперечисленные польская, французская и советские компании, ЗММ (Болгария), а также «Интертекник» и «Нарде» (Франция).

Международная передвижная радиоэкологическая лаборатория размещалась в салоне медицинской лаборатории компании ЗММ на базе автомобиля ГАЗ-53-12. Детектором являлся монокристалл NaI(Tl) размером 127×127 мм. Анализатор выполнялся на базе транспортабельного компьютера IBM со встроенным и выносным мониторами. Система была снабжена креслом, позволяющим проводить измерения человека в положениях «лежа» и «сидя». Подвеска блока детектирования допускала его перемещение и изменение угла наклона для измерения излучения различных участков тела. Сотрудники СНИИПа доработали механику системы с целью обеспечения возможности её эксплуатации в салоне автомобиля. Также было разработано программное обеспечение.

Эксплуатация подвижных лабораторий на загрязнённых территориях показала, что с их помощью сложно обследовать всё население, в первую очередь из-за плохих дорог и труднодоступности населенных пунктов, расположенных в сельской местности. Применявшиеся в этих лабораториях методики измерений требовали длительной подготовки к началу измерений и высокой квалификации операторов.

Поэтому возникла необходимость создания метода, с помощью которого можно было бы осуществлять контроль непосредственно в местах проживания населения переносными, а главное – простыми в обращении и обладающими высокой производительностью средствами измерения. Основная цель такого метода – как можно быстрее выявить среди обследуемого населения людей с аномально высоким содержанием радионуклидов, которым в дальнейшем необходимо пройти детальное обследование и, возможно, лечение в городских стационарных условиях.

В переносном СИЧ для реализации такого метода остановились на радиометре РИГ-07П, созданном в СНИИПе. Базовая модификация прибора предусматривала измерение содержания  $^{137}\text{Cs}$ . В состав прибора входили измерительный пульт и блок детектирования на основе сцинтиллятора NaI(Tl) размером 63×63 мм. Измерения проводились в геометрии «сидя на стуле». Блок детектирования размещался на бедрах обследуемого. Методическое и программное обеспечение, поддерживаемое встроенным микропроцессором, позволяло получать результаты измерений в размерности инкорпорированной активности и вычислять среднегодовую эквивалентную дозу внутреннего облучения по результатам однократного измерения содержания  $^{137}\text{Cs}$ . Прибор РИГ-07П обеспечивал измерение содержания радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в организме в

диапазоне от 1 до 370 кБк при времени измерения не более 5 мин и погрешности  $\approx$  20%. Масса прибора составляла 2,2 кг.

Поскольку упрощение средства измерения и отказ от принятой для СИЧ строго фиксированной геометрии «человек-детектор» неизбежно должны приводить к определенным потерям в измерительных параметрах переносного СИЧ по сравнению с «классическим», градуировку прибора проводили на всех доступных фантомах, применявшихся в то время для оценки внутреннего содержания радионуклидов. Это дало основание считать, что использованные фантомы охватили возможные вариации тела человека и неточности воспроизведения геометрии расположения «человек-детектор» при проведении массовых обследований. Экранирование реального фона измеряемым субъектом в зависимости от его веса было учтено в программе обработки.

Прибор хорошо себя зарекомендовал. С помощью переносного СИЧ было обследовано население деревень Гомельской, Пинской, Могилевской, Брянской и Рязанской областей (всего около 70 000 человек), 1900 детей в детских санаториях «Васильевское» и «Кратово», 500 работников нефтепровода «Дружба» на территории Брянской, Орловской, Липецкой и Тамбовской областей. Часть населения Гомельской области одновременно проверяли на стационарном спектрометре «Progress» (ВНИИФТРИ Госстандарта), а часть – на спектрометре СИБ Института биофизики Минздрава (ИБФ МЗ). Разброс показаний не превышал  $\approx$  30%.

По результатам исследований были разработаны методические указания по измерению содержания цезия в организме человека переносным СИЧ при отсутствии других гамма-излучающих радионуклидов. Методические указания утвердили Министерства здравоохранения России, Белоруссии и Украины, а прибор аттестовали во ВНИИФТРИ Госстандарта России. В дальнейшем были выпущены модификации прибора – РИГ-07П для измерения содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{232}\text{Th}$  в организме и прибор РИГ-07М – для регистрации других гамма-излучающих радионуклидов, инкорпорированных в тело человека.

**Разработка концепций, методических указаний, стандартов, рекомендаций.** В 1992 – 1993 гг. специалистами РНЦ «Курчатовский институт», СНИИПа, НПО «Тайфун» Росгидромета, Центрального института усовершенствования врачей МЗ, ВНИИ Сельхозрадиологии Минсельхоза и Российского научного экспертного центра при Госкомчернобыле РФ была разработана Концепция развития и совершенствования радиационного мониторинга на территориях Российской Федерации, пострадавших от радиационных катастроф. В основу Концепции положили результаты работы по созданию Единой Государственной Автоматизированной Системы Контроля Радиационной Обстановки (ЕГАСКРО), отечественные нормативные документы, а также международные Рекомендации МАГАТЭ, ВОЗ, МКРЗ, МКРЕ и ТК-45 МЭК. В дальнейшем Методический совет по радиационной безопасности Росатома, в состав которого входили и специалисты СНИИПа, выпустил сборник Методических указаний (МУ) по радиационной безопасности, в том числе по определению индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организации контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения, МУ по дозиметрическому контролю внешнего и внутреннего профессионального облучения и др.

Результатом этих работ стали переход на измерение эквивалентной дозы в зивертах (Зв) и мощности эквивалентной дозы Зв/ч, определение эффективной дозы внешнего облучения, а также требования по экранированию детекторов при определении эквивалентной дозы внешнего облучения тела, кожи и хрусталика глаза. Для контроля

радиационной обстановки и оценки эффективной дозы была принята мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы – мкЗв/ч. Принятые и используемые в настоящее время величины, единицы измерения и пределы годовой эффективной дозы, годовой эквивалентной дозы на хрусталик глаза, конечности и кожу соответствуют Рекомендациям МКРЕ и МКРЗ.

Опыт организации массовых обследований больших контингентов людей различными типами СИЧ позволил коллективу специалистов Минздрава и Минатома с участием специалистов СНИИП<sup>а</sup> предложить четырехуровневую концепцию классификации счетчиков излучения человека в зависимости от сложности, назначения, вида решаемых задач, типа детектора (сцинтилляционного или полупроводникового). На основе этой классификации в 2004 году Техническим комитетом 45 Международной электротехнической комиссии (ТК 45 МЭК) выпустил стандарт «In-vivo счётчики - классификация, основные требования и испытания портативного, транспортабельного и стационарного оборудования».

Специалисты СНИИПа также разработали следующие стандарты ТК 45 МЭК, относящиеся к аппаратуре радиационной безопасности: «Стационарная аппаратура для обнаружения радиоактивности в прачечных», «Аппаратура для неразрушающего радиационного контроля пушнины и других материалов для одежды» и «Портативное оборудование для измерения специфической активности гамма излучающих радионуклидов в пищевых продуктах».

В ходе работы при ЛПА на ЧАЭС наши специалисты дали рекомендации о комплектации носимой и переносной аппаратуры легкоъемными чехлами из прозрачного пластика (как было уже заранее предусмотрено у приборов «Стриж»). Такие чехлы стали широко применяться в такой аппаратуре в последующие годы, в том числе при ликвидации последствий радиационной аварии на АЭС «Фукусима-1» (Япония), произошедшей 11 марта 2011 года.

**Радиационный контроль среды обитания населением.** После аварии на Чернобыльской АЭС у населения из-за ограниченного доступа к сведениям о реальной радиационной обстановке появилась радиофобия – боязнь воздействия на организм радиоактивного (ионизирующего) излучения, психологическая напряженность, страх, тревога, депрессия. Она привела к желанию людям самим иметь возможность определять степень загрязнения радиоактивными веществами окружающей среды – почвы, растительности, воздуха, воды, дикорастущих ягод и грибов, животного мира, а также одежды, материалов, предметов, пищевых продуктов, оценивать насколько это опасно.

С этой целью специалисты Минатома и Минздрава разработали, а в 1989 году ее приняла Национальная комиссия по радиационной защите (НКРЗ), Концепция системы радиационного контроля, осуществляемого населением (СРКН). Документ рекомендовал использовать следующие виды средств индивидуального дозиметрического контроля:

- переносной прибор с ручным вводом индивидуальных дозиметров гамма-излучения в измерительное устройство для обеспечения возможности выборочных измерений индивидуальных доз на местах;
- стационарный прибор (установка) с автоматической загрузкой индивидуальных дозиметров гамма-излучения, автоматической обработкой результатов измерений, обеспечивающий автоматизированные массовые измерения индивидуальных доз;
- портативные электронные индикаторы мощности дозы гамма-излучения, обеспечивающие радиационный контроль среды обитания населением.

Измерительные устройства первых двух средств ИДК должны обеспечивать возможность записи дозиметрической информации и кода номера носителя в долговременную память и в ЭВМ.

СРКН предоставила возможность населению самостоятельно оценивать радиационную обстановку в месте проживания или нахождения.

Дозиметрический контроль, осуществляемый населением, в соответствии с СРКН, явился дополнительной составляющей к существующей Государственной системе радиационного контроля.

Определение индивидуальных доз от гамма-излучения должно было осуществляться централизованно с помощью индивидуальных дозиметров, например, термолюминесцентных.

В качестве основных средств для оценки мощности дозы гамма-излучения (самоконтроля населения) в СРКН рекомендовано использование портативных дозиметрических сигнализаторов - индикаторов, обеспечивающих:

- оценку мощности дозы гамма-излучения до значения 0,6 мкЗв/ч;
- индикацию допустимого уровня мощности дозы гамма-излучения 0,6 мкЗв/ч и уровня реагирования 1,2 мкЗв/ч;
- индикацию уровня реагирования, соответствующего радиоактивному загрязнению (например, цезием-137) пищевых продуктов и кормов, составляющего 3,7 кБк/кг, л ( $10^{-7}$  Ки/кг, л).

Уровень 0,6 мкЗв/ч соответствовал допускаемой мощности дозы гамма-излучения, при которой не могла быть превышена доза за год 5 мЗв. Уровень 1,2 мкЗв/ч с учётом минимального коэффициента экранирования строениями соответствовал предельно-допустимой дозе за год 5 мЗв.

Поскольку измерение пищевых продуктов по бета-излучению представляет сложную измерительную задачу, этот вид контроля тогда не был рекомендован для широкого использования населением.

Порядок работы с дозиметрическими приборами-индикаторами определялся Инструкцией, прилагаемой к каждому прибору. В ней было указано на необходимость сокращения времени пребывания или потребления продуктов при превышении границы уровней реагирования и была дана рекомендация обращаться в случае необходимости к помощи специалистов СЭС.

В течение нескольких лет после аварии на ЧАЭС было разработано около 20 типов бытовых дозиметрических приборов, производство части из которых освоили серийные заводы. Наиболее массовым бытовым дозиметрическим прибором для оценки мощности дозы гамма-излучения стал прибор ИР-01 («Белла»), созданный на базе портативного дозиметра МКС-04 («Стриж»).

К бытовым дозиметрическим приборам, которые позволяли проводить оценку уровня мощности дозы гамма-излучения и плотности потока бета-частиц относились ИРД-02Б, МС-04Б («Эксперт»), АНРИ-01 («Сосна»), РКСБ-104 и другие. К приборам, регистрирующим гамма-излучение, относились ДБГ-06Т, «Мастер-1», ДКГ-03Д («Грач»), СИМ-01 («Светофор»), СИМ-02, СИМ-03 («Элат»), СИМ-05 («Юпитер»), «Радекс», автомобильный аналоговый индикатор ДБГ-04Б (ИРА-1), миниатюрные приборы - сигнализаторы ДБГ-02Б («Сверчок-2»), ДБГ-03Б («Сверчок-4») и другие. Всего заводы выпустили около 1 млн таких приборов.

В качестве детекторов в бытовых приборах использовались дешевые газоразрядные счётчики Гейгера-Мюллера: цилиндрические для регистрации гамма- и жесткого бета- излучения, торцевые счётчики с тонким входным окном – для регистрации гамма- и бета-излучения. Приборы обеспечивались прямо показывающими цифровыми или цифро-аналоговыми табло, в них предусматривалась световая и/или звуковая сигнализация.

Бытовые дозиметрические приборы представляют собой индикаторы. Этот класс приборов изготавливается по упрощенной технологии, не проходит поверку и поэтому не имеет гарантированной погрешности, позволяющей отнести эти приборы к средствам измерения. И это несмотря на то, что из них содержат цифровое табло. Вместе с тем при наличии знаний и опыта некоторые пользователи с помощью бытовых дозиметрических приборов могли и могут достаточно точно контролировать уровень радиации.

Лучшие модели бытовых дозиметрических приборов такие, как СИМ-05 («Юпитер»), МС-04Б («Эксперт»), ДБГ-02Б («Сверчок-2»), ДБГ-03Б («Сверчок-4»), поставлялись в Англию, Швецию и другие страны Западной Европы, а также в Китай и Австралию.

Распространение бытовых дозиметрических приборов, а также налаженный государственный радиационный контроль пищевых продуктов, материалов и изделий на базах, магазинах и рынках службами Санэпиднадзора РФ позволили существенно уменьшить радиофобию у населения.

Для помощи населению в овладении знаниями в области ядерной физики и радиационной безопасности массовым тиражом в 1991 году была выпущена научно-популярная брошюра «Дозиметрические приборы для населения» (автор Б.В. Поленов).

В обеспечении дозиметрической аппаратурой, измерениях, в метрологическом обеспечении и ремонте приборов при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС принимали участие специалисты СНИИП<sup>2</sup>а С.Н. Васильев, В.П. Володин, Э.Ф. Гаратов, А.Н. Грязнов, С.М. Епифанов, В.С. Жернов, Ю.Е. Залманзон, И.Д. Иванов, А.Н. Климов, В.В. Макаров, С.С. Мухортов, В.А. Орехов, В.И. Петров, Б.В. Поленов, Н.В. Рябов, Г.Ф. Слученков, А.Д. Соколов, В.П. Царьков и другие.

В работах по обследованию загрязненных территорий, населения, в том числе детей, хозяйственных построек, домашних животных, меха, шерсти в России, Украине и Белоруссии принимали участие специалисты СНИИПа А.В. Бачурин, В.В. Коваленко, Л.А. Сучкова, Е.В. Толченев и другие.

Многие направлялись в командировки на ЧАЭС и другие объекты радиационного контроля несколько раз. Нельзя забыть тех сотрудников, которые сами не работали на ЧАЭС, в 30-километровой зоне, но на своих рабочих местах своим добросовестным трудом обеспечивали необходимые условия для проведения необходимых измерений и проведения экспериментов.

В 2021 году страна отметила 35-ю годовщину радиационной аварии на ЧАЭС. За прошедший период многие сотрудники СНИИПа, участвовавшие в ЛПА на ЧАЭС, были награждены орденами и медалями, почетными грамотами и знаками. В частности, за разработку международного стандарта «In-vivo – счетчики» и за участие в разработке международного стандарта по контролю радиоактивности на границах эксперт ТК 45 проф. Поленов Б.В. Международной электротехнической комиссией в 2006 году был удостоен «Награды 1906» (1906 AWARD).

За прошедший период было создано новое поколение аппаратуры ядерного приборостроения, в котором учтен опыт, приобретенный ликвидаторами последствий радиационной аварии на ЧАЭС.

В 2002 г. прошло пленарное заседание ТК 45 МЭК, рассмотревшее вопросы использования искусственного интеллекта (ИИ) в ядерном приборостроении, акцентировав внимание на важность этой работы. ИИ в ядерном приборостроении – свойство аппаратуры брать на себя отдельные функции интеллекта человека. Благодаря усилиям Ю.П. Сельдякова, С.А. Шумова и автора этих строк новейшая аппаратура стала все больше и больше обладать функциями ИИ, способностью принимать самостоятельные решения, давать указания, вырабатывать рекомендации и экспертные решения, предупреждать о негативных последствиях, проводить самоконтроль и самонастройку.

По вопросу ликвидации последствий радиационной аварии на ЧАЭС, в том числе специалистами СНИИПа, было опубликовано большое количество монографий, отчетов, статей, проведено множество отечественных и международных семинаров и конференций. Была выпущена вторая редакция сборника МУ по радиационной безопасности и радиационному контролю. Опыт, накопленный при ЛПА на ЧАЭС, учтен в новой редакции отечественных Методических указаний, Рекомендациях МКРЕ, МКРЗ, публикациях МАГАТЭ и в стандартах МЭК.

Российские специалисты, в том числе сотрудники СНИИПа, участвовали в помощи японским специалистам в ЛПА на АЭС «Фукусима-1» по линии ТК 45 МЭК «Ядерное приборостроение», а также рекомендациями и приборами.

К сожалению, многих наших коллег, участвовавших в ЛПА на ЧАЭС и выполнивших свой гражданский долг, уже нет в живых. Светлая им память.

### **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОСПОМИНАНИЯ К.Т.Н. В.Л. ФИШБЕЙНА**

В этом небольшом повествовании я хотел бы вспомнить как организационно строился один из отделов института, с моей точки зрения, один из наиболее сильных по составу специалистов, занимавшийся разработкой приборов и систем для научных исследований. Сначала он назывался № 9, затем № 109 (начальник отдела Сергей Степанович Курочкин). Вспомним о некоторых, наиболее значимых работах коллектива.

Я пришел в отдел 1 марта 1960 г. еще до окончания МИФИ. Первое впечатление – это поразительная доброжелательность к новым молодым сотрудникам – я не могу забыть этого отношения до сих пор. Меня определили в лабораторию, которая занималась разработкой запоминающих устройств. Построение отдела было организовано таким образом, что каждая лаборатория, выполняя свои отдельные функции, вносила свой вклад в создание прибора или системы в целом. Ответственным за прибор или систему была одна, какая-либо из наших лабораторий. Выбор ответственной лаборатории зависел от многих факторов: договора на выполнение работы, функциональной направленности изделия, загруженности подразделения, удельного объема уже выполнявшихся работ, относящегося к номенклатуре лаборатории и ряда других факторов.

Работы в лаборатории запоминающих устройств (ЗУ), начальник лаборатории Константин Федорович Кузнецов, а с 1975 г. Игорь Иванович Рогушин, проводились по нескольким направлениям создания ЗУ: на магнитных ферритовых сердечниках с

прямоугольной петлём гистерезиса, магнотриксционных линиях задержки, трансфлюксорах, тонких магнитных пленках. Кроме того, одна из групп занималась разработкой элементной базы на транзисторах для построения приборов. В 70-е и 80-е годы разработка запоминающих устройств осуществлялась на микросхемах средней и большой интеграции. В этот период лаборатория ЗУ совместно с другими лабораториями отдела и рядом предприятий министерства электронной промышленности выполнила разработку мини-ЭВМ «Электроника-100». Уже в 1972 г. на заводе в г. Калининграде (КМЗ) была выпущена первая партия этих вычислительных машин в количестве 150 шт.

Лаборатория входных устройств (начальник лаборатории Игорь Сергеевич Крашенинников) проводила работы по созданию амплитудных и временных преобразователей различных типов. Их назначение – преобразование сигналов с детекторов ионизирующих излучений или с датчиков какого-либо физического процесса в последовательность импульсов или цифровую форму для хранения и регистрации в запоминающем устройстве.

В 1968 г. И.С. Крашенинникова назначили заместителем директора по науке, и лаборатория входных устройств была разделена на две лаборатории: лаборатория амплитудных и лаборатория временных входных устройств. Первой руководил Лев Георгиевич Киселев, второй Евгений Иванович Рехин.

Лаборатория вводно-выводных устройств (начальник Игорь Дмитриевич Мурин) разрабатывала устройства, которые позволяли полученные и сохраненные в памяти данные зарегистрировать на твердом носителе. В 70 годы в лаборатории появилась специализированная группа по разработке программного обеспечения. После назначения И.Д. Мурина на должность заместителя директора института лабораторию возглавил Лев Григорьевич Титов.

Лаборатория 92 (начальник лаборатории Людмила Николаевна Синева) являлась объединяющим звеном. Она разрабатывала многоканальные анализаторы импульсов, которые обеспечивали: управление потоками информации с входных устройств, управление регистрационными процессами записи и считывания запоминающих устройств и управление передачей потока информации из запоминающего устройства на устройства вывода. В 1975 -1976 годах этой лабораторией совместно с другими подразделениями отдела была разработана специализированная мини-ЭВМ, названная УНО-92, которая позволила укомплектовать ряд систем, созданных в институте.

Еще в 60-е годы 20-го века в отделе образовалась лаборатория с космической тематикой (начальник лаборатории Борис Николаевич Кононов, в последствии Владилен Николаевич Распутный), которая занималась разработкой многоканальных гамма- и рентгено-флуоресцентных спектрометров для космических исследований. Так как создание исследовательской аппаратуры для космических аппаратов имело и имеет свою специфику, а именно размеры и форма устройства должны были обеспечивать размещение максимального количества оборудования на спутнике, поэтому не было возможности использовать разработанные ранее в отделе многоканальные анализаторы и спектрометры, которые конструктивно должны были соответствовать принятой унификации. В связи с этим лаборатория решала вопросы, касающиеся конструирования и схемотехнических решений, во многом самостоятельно.

Если на начальном этапе проводимые у нас НИР и ОКР в основном финансировались из бюджета министерства среднего машиностроения, то в дальнейшем лаборатории отдела 109 через соответствующие структуры СНИИП начали заключать хозрасчётные договора с предприятиями других министерств. Наша 93 лаборатория достаточно плотно работала со всеми лабораториями Всесоюзного научно-

исследовательского института ядерной геофизики и геохимии (ВНИИЯГГ) министерства геологи СССР. Результатами этого сотрудничества стали следующие разработки: каротажный сцинтилляционный спектрометр СГС-1 (созданный совместно с отделом 103) для разведки нефти в скважинах на глубине до 3 километров, а также измерительная система «Луч» для экспрессного анализа проб на определение процентного содержания серебра и золота в пробах. Эта измерительная система использовалась Северо-восточной геофизической лабораторией. Для проведения научно-исследовательских работ для ВНИИЯГГ был изготовлен и передан заказчику многоканальный анализатор АИ-1024.

В 60-е годы 20-го века в отделе была проведена разработка комплекса быстрых функциональных блоков на транзисторах. Это обеспечило создание ряда систем, позволивших решить проблемы, связанные с требованиями повышения экспрессности и точности измерений. Например, система отбора и регистрации «Пучок» для Института ядерной физики Сибирского отделения АН СССР. Система предназначалась для проведения экспериментов на встречных электронных пучках. Она имела 100 каналов амплитудной дискриминации, совпадений и/или антисовпадений наносекундного и микросекундного диапазона. Система обеспечивала регистрацию отобранных событий на многоканальном анализаторе АИ-256 с помощью специального кодировщика.

Разработанные в отделе в 60-е и 70-е годы 20-го века анализаторы АИ-128, АИ-128-2, АИ-256, АИ-1024, АИ-2048, АИ-4096-2, АИ-4096-3 нашли широкое применение в науке и промышленности. Основные принципы их работы и особенности освещались в научных статьях, изданных в те годы. Построению системы накопления и обработки информации АИ-2048 была посвящена монография, написанная пятью сотрудниками во главе с С.С. Курочкиным, и изданная Госатомиздатом в 1963 г.

В лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в г. Дубна на выше названных анализаторах проводился большой цикл работ по изучению продуктов распада деления ядер в реакциях с тяжёлыми ионами, были идентифицированы изотопы 102-го, 103-го, 104-го элементов, анализаторы использовались при открытии и исследовании протонной радиоактивности изотопов талия, новых изомеров лантана La-128 и La-130 и во многих других трансурановых методиках. В лаборатории нейтронной физики ОИЯИ анализаторы применялись в цикле работ по исследованию схем распада более чем 40 нейтронодефицитных изотопов редкоземельных элементов. В лаборатории ядерных проблем ОИЯИ анализаторы использовались при исследовании короткоживущих изотопов, получаемых на пучках синхроциклотрона, во многих исследованиях Плю- и Мю- мезонов. В институте химической физики РАН анализаторы, созданные в СНИИП, позволили получить и обработать серии очень результативных экспериментов, основанных на использовании эффекта Мессбауэра в химии и физике твёрдого тела.

В 70-е и 80-е годы структура отдела сохранилась и его развитие шло в сторону совершенствования элементной базы и расширения функционального назначения приборов и блоков. Одной из наиболее крупных работ отдела следует считать создание унифицированной канальной системы ВЕКТОР-САМАС. Предыстория создания этой системы связана с командировкой одного из ведущих специалистов нашего отдела, начальника лаборатории, И.Д. Мурина на научную конференцию в Европейский центр ядерных исследований (CERN, Швейцария). Оттуда он привёз рекламные материалы по системе САМАС.

Здесь необходимо сделать небольшое отступление. В середине 60-х годов стоимость вычислительных машин стала достаточно небольшой, что обеспечило широкое использование их в физических экспериментах. Для обеспечения сопряжения ЭВМ с

различными измерительными устройствами потребовалось создание унифицированных каналов передачи данных. Начало было положено в 1969 году, когда опубликовали европейский стандарт EUR-6100 на модульную систему САМАС, разработанную ядерными электронщиками ведущих европейских институтов для оснащения сложных экспериментов, например, на ускорителях атомных частиц. Одно из прочтений слова САМАС - Computer Applications for Measurements And Control - применение компьютеров для измерений и управления. Во многих научных учреждениях СССР и стран СЭВ стали приобретать и использовать при проведении научных экспериментов некоторую номенклатуру блоков и систем САМАС. Однако высокая стоимость этих блоков и систем, необходимость получения иностранной валюта для их приобретения, а также ряд ограничений наложенных западными странами на торговлю с СССР высокотехнологичным оборудованием заставило руководство отрасли принять решение о создании отечественной измерительной модульной системы совместимой с САМАС. Основная сложность создания такой системы состояла в том, что в СССР, согласно ГОСТ, использовалась метрическая система мер, а САМАС базировалась на дюймовой системе.

Аналогичная ситуация сложилась при строительстве железных дорог. В далеком 1825 г. Британский парламент не позволил сделать железнодорожную колею шире колеи конных дилижансов. Тогда никто не предвидел, что через 150 лет современные рослые люди будут испытывать дискомфорт в купе современных, но узких вагонов. Хорошо бы сегодня сделать вагоны хотя бы на полметра шире, но такие вагоны не пройдут через давно существующие мосты и туннели. В Российской империи при строительстве железной дороги Санкт-Петербург – Москва, выбрали ширину колеи ровно 5 футов или 1520 мм, т.е. на 85 мм шире европейской колеи, и вот уже более 100 лет при переезде в Западную Европу и обратно приходится менять колесные тележки, поднимая вагоны на домкратах. Изменить устоявшиеся стандарты модулей оказалось практически невозможно.

Однако начальник отдела С.С. Курочкин, будучи большим энтузиастом по созданию новых перспективных направлений по разработке новой техники, сразу решил начать разработку российских блоков и систем для научных исследований, получивших название ВЕКТОР и решить проблему различия метрической и дюймовой систем в данной работе. Она была решена путем создания специализированного интерфейса, а система получила наименование унифицированной канальной системы ВЕКТОР-САМАС. Следует подчеркнуть, что система была совместимой с САМАС по протоколам, а конструктивное совмещение с блоками САМАС осуществлялось с помощью вышеназванного специализированного интерфейса.

Большое количество разработанных в отделе блоков различного функционального назначения, канальной системы ВЕКТОР-САМАС, с выходом на контроллер или ЭВМ позволяли создавать как отдельные приборы, так и большие измерительно-информационные комплексы. В 70-90 годах приборы и комплексы на базе системы ВЕКТОР-САМАС широко использовались на различных предприятиях атомной отрасли.

Основная задача института в те годы была разработка новых изделий, проведение испытаний, выпуск конструкторской документации и передача её для освоения на серийный завод. Приборы, разработанные в отделе, выпускались серийно на заводах в г. Астрахань на заводе «Прогресс», в г. Сумы на заводе Электронных микроскопов и автоматики и др. Основная номенклатура изделий ВЕКТОР-САМАС осваивалась и выпускалась заводом «Тензор» в городе Дубна.

К наиболее крупным по масштабу и значению работ отдела на блоках и системах ВЕКТОР-САМАС следует отнести работы, связанные с оснащением измерительными

приборами и измерительно-информационными комплексами установок для термоядерных исследований. В конце 70 годов для термоядерной установки «Ангара-5» (филиал ИАЭ им. И.В. Курчатова, г. Троицк) на базе системы ВЕКТОР-САМАС был разработан измерительно-информационный комплекс в состав которого входили 8 измерительно-информационных систем технологического и диагностического контроля. Комплекс имел более 600 измерительных каналов.

Кроме решения измерительных задач в комплексе было предусмотрено программное обеспечение, позволявшее осуществлять диагностику аппаратных средств, что позволяло быстро готовить аппаратуру к выполнению эксперимента. Установка «Ангара-5» предназначалась для решения принципиальных и инженерных проблем проектирования импульсных термоядерных реакторов. Подобная проблема решалась установкой «Искра-5» (РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров) где дейтерий-третиевая мишень сжималась лазерными пучками. Система имела большое количество измерительных и технологических каналов. Первая очередь установки включала 4 лазерных пучка, вторая 12. Каждый лазер обслуживался 32 плюс 96 мультиплексированных каналов измерения технологических параметров. В системе использовались конструктивы и блоки системы ВЕКТОР-САМАС, а также модули ЭВМ «Электроника-100». Для выполнения этих работ было дополнительно разработано большое количество измерительных блоков различного функционального назначения, что позволило значительно расширить номенклатуру блоков системы ВЕКТОР-САМАС.

Лаборатория отдела, направлением работ которой являлось разработка аппаратуры для космических исследований, на протяжении более чем 30 лет конструировала многоканальные анализаторы и спектрометры для гамма- и рентгено-флуоресцентного анализа. Эти приборы были установлены и успешно работали на искусственных спутниках земли (ИСЗ) «Космос-60», «Луна-10» и «Луна-12», автоматических межпланетных станциях (АМС) «Венера-8», «Венера-9», «Венера-10», АМС «Марс-4» и «Марс-5», АМС «Венера-11», «Венера-12», «Венера-13», «Венера-14», спускаемых аппаратах станций «Вега-1» и «Вега-2», АМС «Фобос-1» и «Фобос-2».

Работы велись в содружестве с учёными Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ РАН СССР) им. Академика В.И. Вернадского. Благодаря этим приборам в 1966 г. впервые по спектрам естественного гамма-излучения луны и фона на траектории Земля – Луна было оценено естественное содержание нуклидов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  и определены типы пород на Луне.

В 1972 г. удалось установить химический состав поверхности пород Венеры прибором, установленным на спускаемом аппарате АМС «Венера-8». Приборы, установленные на АМС «Венера-9», «Венера-10» обеспечили комплексное изучение характеристик этой планеты на поверхности, в атмосфере, облачном слое и окружающем пространстве. С помощью этой аппаратуры в 1972 г. впервые провели измерения с АМС «Марс-4» и «Марс-5» спектров гамма-излучения на трассе полёта Земля – Марс (исследования фона, обусловленного взаимодействием космических лучей с конструкционными материалами АМС) и спектров излучения поверхностного слоя планеты.

В марте 1982 г. аппаратура, установленная на спускаемых аппаратах АМС «Венера-13», «Венера-14», обеспечила наряду с гамма-спектрометрией естественных радиоактивных элементов пород планеты проведение прямого рентгено-флуоресцентного анализа проб грунта с поверхности Венеры. Впервые земной аппарат исследовал химический состав грунта Венеры, была получена полная информация о составе пород планеты в месте посадки спускаемого аппарата. Экспериментальные

данные позволили построить математическую модель Венеры, проясняющие возможные пути хода её эволюции. Успешно прошли и технически сложные эксперименты по изучению химического и изотопного состава атмосферы и облаков, структуры облачного слоя.

В рамках проекта «Вега» анализаторы, установленные на спускаемых аппаратах станций «Вега-1» и «Вега-2» позволили в 1985 г. провести рентгено-флуоресцентного анализа проб грунта в новом районе Венеры и получить дополнительные данные о составе этих проб. Впервые были обнаружены крайне редкие для земли магматические породы типа анортозит-троктолита, из которых состоит первичная материковая кора Луны и Марса, что явилось одним из важнейших результатов изучения планеты Венера. С аппаратурой нового поколения, разработанной в конце 80-х годов в рамках международного проекта «Фобос», и установленной на АМС «Фобос-1» и «Фобос-2» удалось измерить 80 гамма-спектров поверхности Марса, причём впервые была исследована вся экваториальная область его поверхности.

То, что я представил здесь, составляет лишь небольшую часть тех работ, которые проводились в отделе. Лаборатории отдела заключали собственные договоры с научными институтами, входящими не только в атомную отрасль. Будучи сотрудником лаборатории запоминающих устройств, я не мог знать всех работ, которые велись в других лабораториях, поэтому здесь я постарался отобразить лишь те работы, которые по своей значимости и объёму требовали участия практически всех лабораторий отдела кроме лаборатории с космической тематикой о работах которой я рассказал выше.

Успешная работа отдела во многом обязана профессионализму, широкой эрудиции и энтузиазму начальника отдела доктора технических наук С.С. Курочкина. На эту должность он, тогда кандидат наук, перешел в 1957 г. из Радиотехнического института и сразу завоевал в новом коллективе высокий авторитет. Его признанием как ученого стало включение в состав первого Ученого совета, организованного на предприятии в октябре 1959 г. Хорошо помню, как в кабинете Сергея Степановича каждый понедельник проводились научные семинары по обсуждению разработок, которые выполнялись на тот момент в отделе. По окончании семинара он предлагал новую тему и назначал докладчика на следующий понедельник. Удивительным было то, что Курочкин любил обсуждать технические моменты по разработке изделия не только с начальниками лабораторий, но и с инженерами и техниками, занятыми в этих работах. Такой подход заставлял каждого сотрудника повышать свой научно-технический уровень знаний. Под стать ему были и начальники лабораторий, практически все они имели учёную степень кандидатов технических наук. В результате уровень научно-технической подготовки большинства сотрудников отдела был высоким, они хорошо ориентировались в современных новациях, что позволяло им даже в случае перехода в другое место работы быстро адаптироваться и претендовать на ведущие должности.

В 90-е годы в нашем институте, как и во всей стране, началась структурная перестройка, в СНИИПе сократилось количество тематических отделов с 10 до 3. Появились малые предприятия, тесно связанные в своей производственной деятельности с институтом. Подавляющее количество работников малых предприятий составляли сотрудники Института.

В этот период 109 отдел – отдел по разработке приборов и систем для научных исследований перестал существовать как самостоятельная единица. Начинался новый этап деятельности СНИИПа.

**«БЕЗ НАШИХ ПРИБОРОВ «ЯДЕРНАЯ ЖАР-ПТИЦА» НЕ ВЗЛЕТАЛА».**  
**ИНТЕРВЬЮ В.М. СКАТКИНА.**

После успешного ввода в эксплуатацию первой в мире атомной электростанции (1954 г.), в нашей стране широко развернулись работы по внедрению атомной энергетики в народное хозяйство. Ученые – основоположники новой отрасли, отлично понимали важность обеспечения радиационной безопасности «зеленой» энергетики и добились создания приборостроительного института, будущего СНИИП. В конце 1950-х годов институт посетил Игорь Васильевич Курчатов, осмотрел выставку наших достижений и в целом одобрил созданный задел.

Институт в те годы быстро развивался. В 1960 – 1970-х годах в СНИИПе широко развернулись работы по изучению путей построения уже комплексов средств радиационного контроля для летающих, плавающих и стационарных объектов с ядерными силовыми установками. Эта работа проводилась в тесном контакте с проектировщиками атомных объектов, заводами-изготовителями аппаратуры и, главное, с её эксплуатационниками.

Специалисты предприятия выезжали в длительные командировки в места, где проводились испытания или вводились в эксплуатацию такие объекты. Основными задачами командированных работников института стали сбор информации об условиях использования приборов, их типичных неисправностях, выявления деталей эксплуатации, далеко не всегда отраженных в технических заданиях на создаваемую аппаратуру.

Сегодня можно вспомнить некоторые маршруты командировок специалистов СНИИП. Так, в 1963 г. впервые и затем неоднократно в последующие годы приходилось бывать на севере, в городе Мурманск и в порту, где базировался атомный ледокол «Ленин». Специалисты нашего института участвовали в рабочих рейсах ледокола, а в 1967 г. контролировали ход работ по замене старого реактора ОК-150 на более современный ОК-900, следили за радиационным фоном на судне и в прилегающей акватории моря.

Несколько позже, в апреле 1975 г. состоялся приём в эксплуатацию и подъём государственного флага на втором отечественном атомном ледоколе «Арктика», а в начале следующего года (это произошло 7 января) был опубликован указ Президиума Верховного Совета СССР о награждении специалистов ведущих организаций за успешное выполнение задания правительства по созданию, строительству и оснащению ледокола. За участие в создании аппаратуры радиационного контроля для ледоколов ряд сотрудников СНИИП был награжден орденами.

В августе 1964 г. группа сотрудников СНИИП была командирована на Дальний Восток (Приморский край, Шкотовский р-н). Они приняли участие в походе на плавающем объекте с атомной энергетической установкой, оснащенном в том числе снииповской аппаратурой радиационного контроля. Замечаний по аппаратуре не было.

С конца 1960-х годов основная тематика работ – обеспечение системами контроля атомных электростанций. В стране была принята программа развития атомной энергетики на несколько десятилетий, в ней активно участвовал СНИИП. Первоначально программа основывалась на основе двух типов энергоблоков: ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) и РБМК (реактор большой мощности канальный).

Еще в 1958 г. началось строительство энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС. Спустя шесть лет у города Нововоронеж стал создаваться блок № 2. На них эксплуатировались реакторы ВВЭР-210 и ВВЭР-365, соответственно. В сентябре 1964 г.

первый блок НВ АЭС приступил к штатной работе, вскоре его вывели на проектную мощность. Поскольку имевшаяся энергетическая мощность не могла удовлетворить потребности развивающегося района, в 1967 г. строители приступили к сооружению еще двух энергоблоков, которые использовали улучшенные реакторы ВВЭР-440 электрической мощностью 440 МВт. Оборудование реакторных установок размещено в герметичных боксах, которые обеспечивают удержание в этих помещениях радиоактивных веществ при разуплотнении первого контура. Проект оказался удачным, несколько раз продлевался ресурс работы энергоблоков.

Другим типом реакторов, на котором будет впоследствии базироваться советская атомная энергетика и атомная энергетика других стран-членов СЭВ, является РБМК-1000 электрической мощностью 1000 МВт. Первенцем стала Ленинградская атомная электростанция (ЛАЭС) – крупнейшая в России по установленной мощности из действующих, расположена на побережье Финского залива в городе Сосновый Бор. Строительство началось в сентябре 1967 г., первый энергоблок ввели в эксплуатацию в 1973 году, последующие – в 1975, 1979 и 1981 годах. Об успехе проекта свидетельствуют следующие цифры: 21 декабря 2018 г., после 45 лет эксплуатации, был остановлен энергоблок № 1 серии РБМК-1000 (первый из подобных); с момента включения в сеть 21 декабря 1973 г. он выработал 264,9 млрд кВт·ч (!) электроэнергии.

Приятно подчеркнуть: наш коллектив, СНИИП оказался вовлечен во все работы на НВ АЭС и ЛАЭС с первых практических шагов. Удалось наладить постоянную связь с проектными организациями (Атомэнергопроект в Москве, ВНИПИЭТ в Ленинграде), заводами-изготовителями (в Пятигорске, Златоусте, Нарве). По результатам работ для АЭС были поданы заявки на изобретения, опубликованы многочисленные доклады, статьи, монографии. Так, доклад об аппаратных комплексах радиационного контроля на советских атомных электростанциях с большим интересом прослушали на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Вене в 1978 г.

Важное для всех нас постановление Совета Министров СССР вышло в свет 16 апреля 1983 г., где говорилось о награждении Государственной премией Совета министров СССР за разработку, освоение промышленного выпуска и внедрение в эксплуатацию систем и комплексов современных агрегатных технических средств контроля радиационной безопасности головной АЭС с реакторами типа РБМК. Всего этой премией были награждены 23 человека, из них 11 специалистов – сотрудники СНИИП, а также специалисты Ленинградской АЭС, проектировщики, работники заводов – изготовителей технических средств и другие участники эпохальной работы.

В начале 50-х годов XX века в СССР фронт работ над различными вариантами использования атомной энергии заметно расширился. Большинство из них возглавлял академик И.В. Курчатов. Он, вынужденный решать самый широкий круг проблем, возложил конкретное руководство новой для отрасли - авиационной тематикой - на академика А.П. Александрова. СНИИП был привлечен к этим работам, его сотрудники были командированы на секретный объект в Семипалатинске в 1961 г

Постановление Совета Министров СССР, по которому к атомной авиационной проблеме подключались некоторые предприятия авиационной промышленности, опубликовали 12 августа 1955 года. ОКБ-156 А.Н. Туполева и ОКБ-23 В.М. Мясищева должны были заняться проектированием и постройкой самолетов с ядерными силовыми установками, а ОКБ-276 Н.Д. Кузнецова и ОКБ-165 А.М. Люлька - разработкой авиационных силовых установок для этих самолетов. Создание самолета с подобной установкой в виде ядерного реактора открывало перед советскими ВВС возможность

получить в свои руки пилотируемые боевые системы, продолжительность и дальность полета которых ограничивалась бы только выносливостью экипажа.

Практически одновременно прорабатывалось несколько вариантов ядерных авиационных силовых установок на основе прямоточных, турбореактивных и турбовинтовых двигателей с различными схемами передачи тепловой энергии к двигателям. Огромный вклад в дело внес один из ближайших сподвижников Курчатова - В.И. Меркин, в то время лауреат трех Сталинских премий. Под его началом изучались и сравнивались различные типы реакторов и систем теплоносителей, рассматривались приемлемые для применения в авиации виды биологической защиты экипажа и систем оборудования от воздействия радиоактивного излучения.

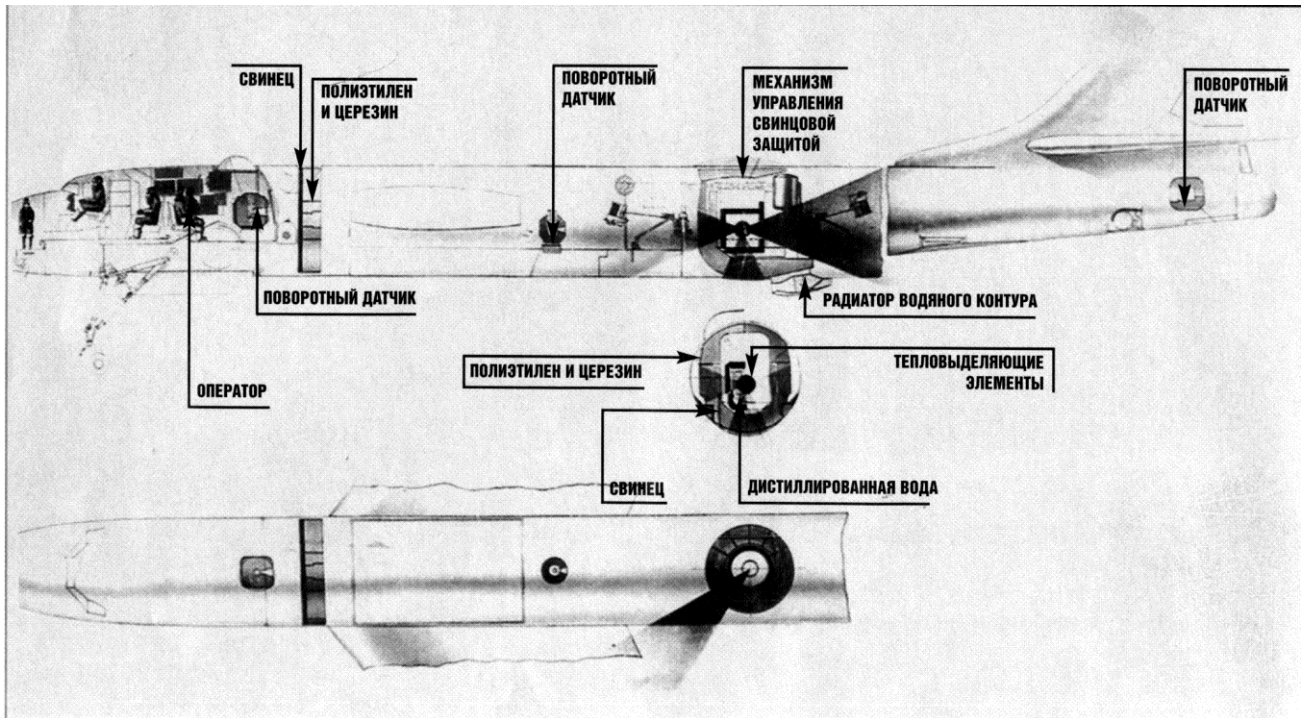
В ОКБ А.Н. Туполева, признанного в Советском Союзе лидера по созданию дальних и тяжелых бомбардировщиков и ракетносцев, совместно со смежными предприятиями и организациями была проработана крупномасштабная, рассчитанная на два десятилетия программа создания и развития тяжелых боевых самолетов с ядерными силовыми установками, которая должна была завершиться постройкой в 70-80 годы прошлого века полноценных боевых дозвуковых и сверхзвуковых самолетов самого различного назначения.

На первом этапе предполагалось создать наземный стенд для отработки самолетной ядерной энергетической установки (ЯЭУ). Проектные работы по данному объекту и установке реактора на самолет проводились в Стойленском филиале ОКБ, возглавляемом И.Ф. Незвалем. Лишь затем, по замыслу руководства, аналогичная установка могла быть испытана на летающей лаборатории с целью отработки всех систем, включая систему радиационной защиты экипажа.

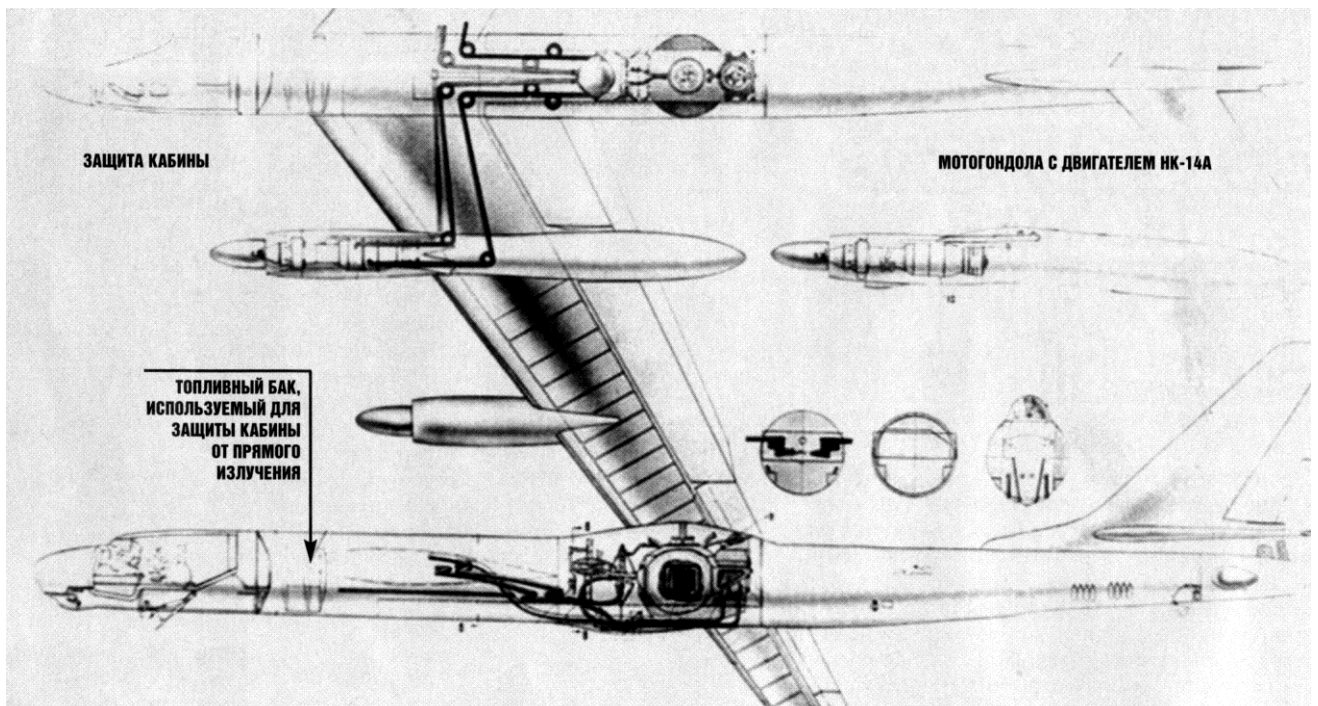
Как теперь известно, 28 марта 1956 года вышло Постановление Совета Министров СССР, согласно которому в КБ начались практические работы по проектированию летающей лаборатории на базе серийного самолета Ту-95 для исследований влияния излучения авиационного ядерного реактора на самолетное оборудование, а также для изучения вопросов, связанных с радиационной защитой экипажа и особенностей эксплуатации самолета с ядерным реактором на борту.

Радиационная защита на стенде, а затем и на летающей лаборатории, получившей обозначение Ту-95ЛАЛ, изготовлялась с использованием совершенно новых для авиационного материала. Для их освоения в производстве потребовалась уникальные для своего времени технологии. Перед использованием защитные авиационные материалы и элементы конструкции из них были созданы совместно со специалистами химической промышленности, проверены ядерщиками и признаны пригодными для применения в наземной установке и на летающей лаборатории.

В начале 1958 г. наземный стенд построили и перевезли на испытательный полигон под Семипалатинск, одновременно была подготовлена ядерная силовая установка для летающей лаборатории. Осенью в ангаре, где производилось снаряжение атомных бомб, которые затем сбрасывали с самолётов на полигоне, в присутствии академиков А.П. Александрова и Г.И. Петрова провели физический пуск атомного реактора. Для удобства обслуживания реактор на стенде и на летающей лаборатории выполнили на специальной платформе с подъемником, и при необходимости он мог опускаться из грузового отсека самолета.

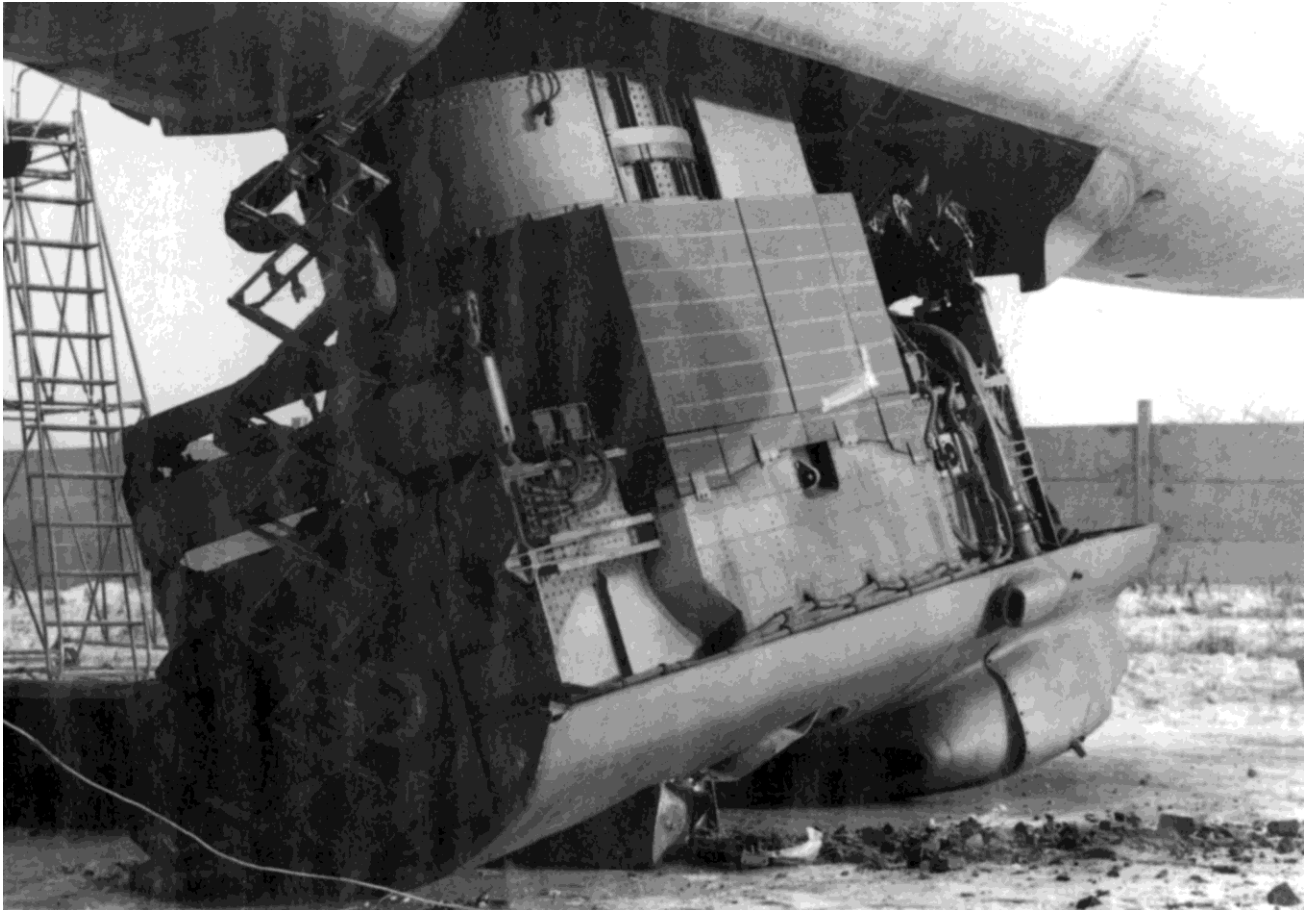


В первой половине 1959 г. состоялся экспериментальный запуск реактора на наземном стенде. В ходе предварительных испытаний удалось выйти на заданный уровень мощности реактора, теперь можно было переходить к работам на летающей лаборатории. Под нее выделили серийный Ту-95М № 7800408. При переоборудовании в летающую лабораторию бомбардировщик лишился всего вооружения, а также связанного с ним оборудования. Сразу за кабиной пилотов установили пятисантиметровую свинцовую плиту и пакет из полимерных материалов толщиной в 15 см. В носу, хвосте и средней части фюзеляжа, а также на крыльях смонтировали датчики, следящие за уровнем радиации. В заднем грузовом отсеке разместили экспериментальный реактор. Его защита в некоторой мере напоминала примененную в кабине, однако активная зона реактора помещалась внутри круглого защитного кожуха.



Работать приходилось преимущественно по ночам, чтобы не превышать допустимую температуру воды - теплоносителя. В ходе наземных экспериментов облучали животных, оборудование, проводили другие, вроде бы второстепенные исследования, и главное, набирались опыта. Общее мнение специалистов: реактор и система его управления оказались на удивление удачными, пульт управления компактный и удобный, реактор оказался «послушным». Произведенные замеры абсолютной тепловой мощности как работающего, так и остановленного реактора, оказались впоследствии важными при принятии оперативных решений о работе и хранении реактора в условиях заморозков.

Первый испытательный полёт «Туполева-95» состоялся 2 октября 1961 г. (на следующий день после очередного взрыва бомбы). В полёте участвовали экипаж из четырех человек во главе с полковником М.А. Нюхтиковым. Одним из находившихся на борту был наш коллега из ЛИПАН (ИАЭ им. И.В. Курчатова) В.М. Мордашов, которого называли «контролирующим физиком». Он совершил около 10 полетов. Ни в этот раз, ни в других случаях, СНИИПовцы непосредственно в летных испытаниях участия не принимали.



Второй вылет состоялся через день после первого, а основная работа пришлась на 1962 г. По инициативе В.И. Меркина, руководителем программы назначили его помощника Н.Н. Пономарева-Степного (впоследствии академика РАН). Андрей Николаевич Туполев прислал новый экипаж во главе с молодым лётчиком-испытателем Е.А. Горюновым, которому надлежало заменить старшего товарища.

Герой Советского Союза полковник М.А. Нюхтиков прошел войну, имел огромный опыт полетов днем и ночью и проведения различных испытаний. В ноябре далекого 1936 г. Михаил Александрович установил международный рекорд высоты полёта с контрольной нагрузкой в 10 000 кг, подняв самолет ДБ-А на 7032 м. Говорили, что у него

был выбор: провести первый полет по программе «ЛАЛ» или сбросить 50-мегатонную бомбу на Новой Земле; он выбрал первое, как более интересное и перспективное предложение.

Летчик Е.А. Горюнов в конце 1957 г. при сокращении Военно-воздушных сил был уволен в запас, но желание продолжать полеты было огромным. Окончив в 1959 г. школу летчиков-испытателей Министерства авиапрома СССР, Евгений тогда же начал работать в ОКБ Туполева. К рассматриваемому времени уже остались позади работы над Ту-22, Ту-134, Ту-142... И вот теперь предстояло продолжить начатую работу на необычной летающей лаборатории с атомным двигателем.

Всего в 1962 году было совершено еще 32 многочасовых полёта, в которых собрали огромный экспериментальный материал. На аэродроме кроме летчиков и операторов постоянно работал штурман М.А. Жила, а ведущим инженером по машине был Н.В. Лашкевич. Николай Васильевич очень четко организовал весь испытательный процесс. Полеты проходили как с холодным, т.е. выключенным реактором, так с работающим. Во многих из них проверялась эффективность биологической защиты. Экипаж и экспериментаторы находились в передней герметической кабине, где находился датчик, фиксирующий излучение. На борту имелась система управления реактором, подключенная к пульту экспериментаторов.

Проведенные летные испытания Ту-95ЛАЛ показали достаточно высокую эффективность примененной системы радиационной защиты, что позволяло продолжить работы по самолетам с ядерными силовыми установками. К счастью, все экспериментальные полеты Ту-95ЛАЛ прошли штатно и без неполадок.

Следующим этапом в разработке самолета с ЯСУ должен был стать экспериментальный самолет, получивший в ОКБ обозначение «119» (или Ту-119). Но вскоре после проведенных испытаний Ту-95ЛАЛ все работы по атомной авиационной тематике свернули. Озвученный официально мотив – слишком опасны аварии с мощным ядерным реактором на борту; они, несомненно, вызовут заражение ядерными компонентами больших пространств. Вероятно, это было лукавство, поскольку вероятность разных происшествий просчитывалась еще до начала проведения наших работ.

Главная цель атомных самолётов – неограниченные дальность и огромное время полёта стали достигаться заправкой топливом обычных самолётов в воздухе. Нельзя исключать и проблему финансовых ограничений. Ведь в это же время в СССР развертывались программы строительства ядерных подводных ракетноносцев, межконтинентальных баллистических ракет наземного базирования, и в руководстве страны видимо решили: без атомного самолета можно обойтись; масштабную программу разработки и строительства атомных самолетов даже такая богатая страна, как СССР, могла бы не выдержать – предполагались огромные расходы. А тут еще стало известно: в США закрыли программу «атомного самолета», догонять нам стало некого.

На этом история летающей лаборатории, а через некоторое время и всей атомной авиации в СССР закончилась. Через пару лет, как рассказывали коллеги, Ту-95ЛАЛ без реактора перегнали в Иркутск, где машину списали и порезали на металлолом. Сотрудники СНИИП были горды, что удалось прикоснуться к столь необычной и интересной, а в те годы и совершенно секретной теме, хотя вклад оказался минимальным, подняться в воздух самолет – летающую лабораторию им не довелось. В перестроечные годы в одной статье в ведомственной прессе ЛАЛ назвали «ядерной жар-птицей».

## СОЗДАНИЕ ПЕРВОГО В СССР ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОСТИМУЛЯТОРА

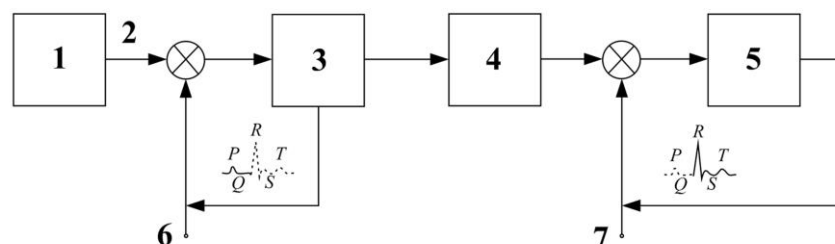
*д.т.н. Белов А.Ф. к.т.н. Леонов А.Ф.*

В настоящее время электрокардиостимулятор, или ЭКС, прочно вошел в повседневную жизнь людей в развитых странах мира. Как известно, это устройство, состоящее из генерирующей импульсы микросхемы, миниатюрной батарейки, питающей микросхему и электрода, проводящего электрический импульс к сердцу. Вскоре после того, как разработали и начали производить серийные изделия, было создано несколько поколений ЭКС. Современные кардиостимуляторы следят за работой сердца человека и работают только тогда, когда это необходимо по медицинским показателям. Слежение за сердцем осуществляется электродом, который устанавливается непосредственно в сердце. Если ЭКС не регистрирует нарушений в сердечном ритме, то генераций импульса не происходит, и сердце управляется естественно, синусным или синоатриальным узлом.

Частота сигналов возбуждения, генерируемых специальными клетками, зависит от потребностей организма и обеспечивается разветвленной системой регуляции. Примерно через 120 мс после начала сокращения предсердий сигнал возбуждения достигает желудочков, туда попадает кровь. В дальнейшем возбуждение распространяется по проводящей системе желудочков, охватывает всю массу рабочего миокарда (сердечной мышцы), обеспечивая тем самым эффективный приток крови из сердца. Ниже приведена упрощенная схема подключения кардиостимулятора в проводящую систему сердца.

Упрощенная схема включения кардиостимулятора в: 1- синоатриальный узел; 2 – сигнал возбуждения; 3 – предсердие; 4 – узел задержки; 5 – датчик частоты сердечных сокращений; 6 – сигнал от электрокардиостимулятора; 7 – сигнал стимуляции желудочка

Между пониманием процессов работы сердца врачами, учеными, техническими специалистами и созданием на практике надежного устройства «задатчика ритма», освоением такой функции, как управление работой столь сложного органа человека, прошло немало времени. Первые устройства носили опытный характер, были весьма



несовершенными. Но в течение нескольких лет был достигнут существенный прогресс. Более того, в зависимости от характера нарушения ритма сердца стали применять как однокамерные, так и двухкамерные электрокардиостимуляторы. При установке однокамерного ЭКС единственный электрод устанавливается в предсердие или желудочек, при установке двухкамерного ЭКС – электрода имеется уже два, один из которых монтируется в предсердии, второй – в желудочке сердца.

История отечественной кардиостимуляции ведет отсчет с 1960 года, когда академик Александр Бакулев обратился к ведущим конструкторам страны с

предложением о разработке медицинских аппаратов. Первыми откликнулись специалисты Конструкторского бюро точного машиностроения, ведущего предприятия оборонной отрасли, возглавляемого тогда Александром Нудельманом. Сегодня это АО «Конструкторское бюро точного машиностроения им. А.Э. Нудельмана», входящее в состав госкорпорации «Ростех».

В середине 1980-х годов масштабы использования электрокардиостимуляторов в нашей стране существенно расширились. В специальном постановлении ЦК КПСС и Совета министров «О мерах по лечению больных с нарушениями сердечного ритма методами электрической стимуляции сердца» говорилось о необходимости предусмотреть всестороннее развитие материально-технической базы и подготовить квалифицированные кадры специалистов – об этом 8 марта 1985 г. писала «Правда». В 1988 г. к производству электрокардиостимуляторов подключилось второе оборонное предприятие – Ижевский механический завод.

К тому времени специалисты СНИИПа успели накопить немалый опыт в области медицинских приборов. Поняв принципиальную возможность создания ЭКС, наши специалисты отметили сложность хирургического вмешательства при имплантации электрода и самого кардиостимулятора в организм человека. Между тем, имевшиеся на тот период кардиостимуляторы с химическими источниками энергии обеспечивали срок службы всего один – два года. Поэтому увеличение срока службы кардиостимулятора являлась важной задачей, связанной в первую очередь с наличием долгосрочного источника энергии.

Это обстоятельство определило интерес к радиоизотопным источникам питания (первый кардиостимулятор модели 9000 с радиоизотопным источником энергии французской фирмы “Alcatel” со сроком службы более 10 лет выпустила на рынок фирма “Medtronic”). Не удивительно, что работы по электрокардиостимуляторам начались в СНИИПе с разработки электронных блоков для отечественного радиоизотопного электрокардиостимулятора (руководитель работы Н.М. Хлюстикова), а разработку миниатюрного радиоизотопного электротермогенератора (РИТЭГ) для обеспечения питания электронного блока осуществлял ВНИИРТ (в настоящее время – НИТФА).

При создании радиоизотопных кардиостимуляторов оказалось необходимым решить ряд важных задач, в число которых входили обеспечение минимально возможной дозы облучения человека, работа устройства от низкого напряжения радиоизотопного источника питания (0,5 - 0,6 В) и достижение минимального потребления энергии электронными цепями кардиостимулятора. При разработке схемотехники кардиостимуляторов были использованы новейшие микросхемы на МОП-транзисторах, благодаря которым удалось обеспечить потребление электронных цепей генераторных и формирующих цепей на уровне 1-2 мкА. При разработке электронных блоков были решены вопросы работы усилительных транзисторов в режимах микротоков и создан микромощный преобразователь напряжения с высоким КПД, работающий от напряжения 0,5 В.

В СНИИПе в 1975 - 1977 гг. удалось разработать электронные блоки для радиоизотопных кардиостимуляторов нескольких типов:

- асинхронного ЭКС-1 с генерацией импульсов с частотой 70 имп./мин, длительностью 0,7 мс и амплитудой 6-7 В;
- биоуправляемого Р-синхронного, т.е. работающего как «запасной», ЭКС-2 с генерацией импульсов синхронно с сокращением предсердий (для протезирования нарушенной внутрисердечной проводящей системы);

- биоуправляемого R-запрещающего, т.е. «работающего по требованию», ЭКС-3 с принудительной генерацией стимулирующих импульсов, если частота собственных сердечных сокращений опустилась ниже определенного порога.

Электронные блоки выполнялись в отдельном корпусе из терморезистивной пластмассы, поскольку было обнаружено, что в герметичном объеме кардиостимулятора при использовании традиционного компаунда «виксинт» скапливался свободный водород, который через определенное время разрушал обкладки керамических конденсаторов.

Важно подчеркнуть, что СНИИП оказался первопроходцем, именно наш институт создал работающий образец. Серийный выпуск радиоизотопных кардиостимуляторов освоил завод «Тензор» в г. Дубна (наукоград на севере Московской области). В 1986 г. главного инженера этого завода Ю.Д. Никитского наградили Большой серебряной медалью ВДНХ СССР за участие в разработке и изготовлении экспонировавшихся на ней электрокардиостимуляторов новых поколений РЭКС-200 и РЭКС-2204, отметили и других специалистов, участвовавших в важной и нужной работе.

К этому времени наш коллектив добился существенного снижения собственного потребления электронных узлов кардиостимуляторов, создал предпосылки к разработке кардиостимуляторов с химическим источником питания со сроком службы 3 – 5 лет, что ранее было невозможно. Основными особенностями таких кардиостимуляторов явились компенсация энергии стимулирующего импульса по мере разряда батареи и сигнализация о начале разряда батареи.

Электронная схема кардиостимулятора была дополнена цепями, обеспечивавшими увеличение длительности стимулирующего импульса при снижении напряжения питания и снижение частоты асинхронной работы кардиостимулятора (контроль разряда батареи). В качестве источника питания первоначально была использована ртутно-цинковая батарея РЦ-55С со сроком службы 5 лет. Корпуса кардиостимуляторов были выполнены из титана, а технология сварки позволяла получать сварной шов, не требующий дальнейшей обработки.

В течение 1977 – 1978 гг. были разработаны опытные кардиостимуляторы Р-синхронного и R-запрещающего типов.

В процессе работы с медиками была выявлена потребность в кардиостимуляторах для временной электрической стимуляции сердца, которые использовались для подготовки пациента к операции по имплантации основного кардиостимулятора и для поддержания работы сердца больного при транспортировке в больницу в случаях острого инфаркта миокарда (внешнего кардиостимулятора). К таким стимуляторам предъявлялись требования возможности регулировки амплитуды выходного импульса, частоты следования выходных импульсов и чувствительности к так называемому R-зубцу кардиосигнала, возможности переключения в асинхронный режим работы, индикации наличия стимулирующего импульса и разряда батареи питания, быстрой замены батареи питания без прерывания процесса стимуляции сердца, а также исключения случайного изменения настроек кардиостимулятора. Внешний кардиостимулятор ЭКСВ-1, удовлетворяющий всем перечисленным требованиям, был разработан в СНИИПе в 1979 г. и серийно освоен на заводе «Эталон» в г. Кишиневе.

О новизне использованных технических решений говорит тот факт, что при разработке кардиостимуляторов было получено 13 авторских свидетельств. От НИЦ «СНИИП» работы по созданию ЭКС на всех этапах, от самого раннего, возглавляли А.Ф. Леонов и А.Ф. Белов. В результате немалых усилий этих руководителей и их коллег

медицинские сотрудники приобрели опыт эксплуатации ЭКС. Ведь требовалось не только имплантировать прибор пациенту, но и своевременно выявлять нарушения в работе прибора, квалифицировать типы этих нарушений, чтобы иметь возможность их быстро устранять.

Например, нарушения в процессе стимуляции могли вызывать как временные физиологические факторы, так и неисправности в работе электрической схемы ЭКС. Если в первом случае иногда возможна коррекция нарушений с помощью медикаментозных средств, то во втором – необходимо принимать меры к замене стимулятора (т.е. проведение срочной полостной операции) или, если используется программируемый ЭКС, к перестройке соответствующего параметра.

Поэтому врачу-кардиологу было необходимо досконально знать принципы построения кардиостимуляторов и особенностей их работы для достоверной и своевременной диагностики нарушений, что в итоге позволяло избегать неоправданных операций по реимплантации стимулятора сердца. Выявление нарушений в работе стимулятора и в процессе его взаимодействия с сердцем потребовало развития сервисной аппаратуры, необходимой для получения исходной информации о характеристиках ЭКС и о физиологическом состоянии пациента, определяющих нормальный режим стимуляции.

К этим характеристикам прежде всего относятся:

- входные и выходные параметры электрокардиостимулятора, подлежащего имплантации; предоперационный контроль характеристик ЭКС позволяет своевременно выявить неисправности в его функционировании;
- пороговые характеристики сердца, позволяющие оценить корректность имплантации электрода и определить совместимость энергетических характеристик выходных импульсов ЭКС с реальной энергией, необходимой для возбуждения сердца;
- амплитуда управляющего электрокардиосигнала на электроде относительно предполагаемого ложа стимулятора, что обеспечивает уверенный режим биоуправления;
- временные и амплитудные характеристики импульсов имплантированного стимулятора, необходимые для проведения периодического контроля состояния самого прибора ЭКС и его проводниковой системы.

Таким образом, учеными, инженерами, медицинскими специалистами была решена задача клинического использования методов электрической стимуляции сердца для лечения больных с различными нарушениями сердечного ритма. В СНИИПе пришли к выводу: успешное решение задачи возможно на основе комплексного подхода, учитывая совместимость всех приборов, взаимосвязь основных этапов контроля и диагностики.

По мере увеличения количества больных с имплантированными кардиостимуляторами медики столкнулись с рядом проблем, решение которых требовало дополнительного приборного оснащения, а именно, создания аппаратуры, а затем и целой системы контроля работоспособности кардиостимуляторов.

Во-первых, перед имплантацией кардиостимулятора приходилось доверять данным паспорта и иногда случалось, что имплантировали все же бракованный кардиостимулятор. Во-вторых, из-за отсутствия соответствующей аппаратуры не проводился перед установкой контроль порога раздражения миокарда в зоне имплантации электрода, что иногда приводило к неадекватной стимуляции сердца по мере обрастания электрода соединительной тканью. В-третьих, пациенты с кардиостимуляторами, в том числе и иногородние, вынуждены были появляться в

клинике два раза в год и потребовалась разработка системы дистанционного контроля имплантированного кардиостимулятора с передачей данных по телефону.

В 1980 г. в СНИИПе создали прибор для предоперационного контроля параметров кардиостимулятора ТПКЭ-1, который представлял собой сочетание электрической модели сердца и оперативного измерителя параметров кардиостимулятора (амплитуда, длительность, период нечувствительности, частота следования импульсов в асинхронном режиме, чувствительность к имитаторам биосигналов различной формы и амплитуды, задержка между Р-сигналом и выходным импульсом). Врачебное сообщество положительно отнеслось к его появлению и последующему внедрению.

На помощь пришел технический прогресс. Основой прибора являлся микропроцессорный комплект серии K580. Это был 8-битный микропроцессор (модель 8080), выпущенный компанией *Intel* в 1974 г. и представлявший собой усовершенствованную версию предыдущего процессора (модель 8008) со значительным приростом производительности. Все измерения теперь проводились автоматически; в приборе была реализована самодиагностика функциональных узлов. К прибору подключался кардиостимулятор любого типа, проводились измерения его параметров и устанавливалось их соответствие паспортным данным, моделировалась реакция кардиостимулятора на изменения ритма сердца. Позднее прибор был модернизирован. Выпуск прибора был освоен также на заводе «Тензор».

Затем в институте был разработан прибор ИПРМ-1 для операционного контроля параметров пациентов перед установкой кардиостимулятора. В клинической практике до появления данного прибора использовались внешние кардиостимуляторы с регулировкой амплитуды выходного импульса и кардиограф для оценки величины биосигнала от электрода относительно предполагаемого ложа кардиостимулятора. Прерывание процесса кардиостимуляции при определенных условиях могло привести к остановке сердца. В приборе ИПРМ-1 процесс стимуляции сердца не прерывался при снижении измерительного импульса ниже порогового значения. В нем обеспечивалась также возможность регулировки длительности измерительного импульса (под длительность импульса кардиостимулятора, готовящегося к имплантации), и выбора оптимальной частоты следования измерительных импульсов.

В XXI веке методы электрической стимуляции сердца заняли прочную позицию в арсенале современных средств лечения нарушений сердечного ритма. Этому способствовал положительный опыт клинического применения ЭКС в сочетании с успехами развития микроэлектроники, источников тока и схемотехники. К сожалению, в мире постоянно растет число больных с сердечными заболеваниями, в частности, с нарушением сердечного ритма. Так, в конце 1980-х годов на каждый млн жителей приходилось 500 больных, спустя 40 лет – уже примерно 850. Для этих людей и их близких дальнейшее развитие методов электрической стимуляции сердца и расширение номенклатуры технических средств является жизненно необходимым.

В настоящее время кардиостимулятор сердца представляет собой, как правило, малогабаритный аппарат весом до 45 г, который работает на батарейках без их замены на срок до 15 лет. Принцип работы электрокардиостимулятора остался прежним – генерация внешних электроимпульсов для гарантии нормального сокращения сердечной мышцы. Частотно-адаптивные ЭКС нового поколения дополнительно снабжены сенсорными датчиками, которые подстраиваются под изменение частоты дыхания, температуры тела, стрессовые ситуации и пр.

Имеются в настоящее время также кардиостимуляторы с дефибриллятором. Последние модели способны неинвазивно менять параметры работы с помощью

специальных приспособлений. Чип, вмонтированный в ЭКС, анализирует естественные сигналы миокарда, синхронизирует их и передает сердечной мышце для нормализации ее работы. Проводники, которые вживляют, оборудованы электродами с металлическими наконечниками, которые собирают данные о сердечной активности, генерируя на их основе импульсы только в случае необходимости. Асистолия или критическое замедление ритма заставляет кардиостимулятор работать в постоянном режиме с частотой, заданной при его имплантации. Если внезапно восстанавливается автоматизм сердца, кардиостимулятор переходит в состояние ожидания.

Тысячи людей сегодня живут и работают с подобными кардиостимуляторами сердца, они вошли в повседневность, практически не ограничивая деятельность человека (конечно, в пределах допустимых по возрасту нагрузок). Однако, напомним, наш институт первым разработал ЭКС, добился его серийного выпуска, участвовал в наладке первых образцов, в подготовке врачей-кардиологов, другого медицинского персонала для длительной и надежной работы столь необходимого нашим соотечественникам прибора.

## **РАЗВИТИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ АППАРАТУРЫ ПОИСКА, РАЗВЕДКИ И ОБОГАЩЕНИЯ УРАНОВЫХ РУД**

*к.т.н. Д.Б. Хазанов*

В связи с началом работ в Советском Союзе над Атомным проектом обычно вспоминают И.В. Курчатова, М.Г. Первухина, Л.П. Берию, наших героических разведчиков... Однако еще одного человека нельзя забывать – профессора-химика С.В. Кафтанова, которого с началом войны назначили уполномоченным Государственного комитета обороны (ГКО) по науке. Именно к нему попали трофейная «атомная тетрадь» убитого на фронте немецкого физика-ядерщика Ганса Вандервельде, письмо-предупреждение о серьезной угрозе нашей стране в случае бездействия от физика Г.Н. Флёрва, другие документы. Их сочли настолько важными, что вопрос рассматривался на заседании ГКО.

Кафтанов вспоминал, что когда в Кремле обсуждалось предложение о необходимости создания в СССР научного центра по проблемам разработки ядерного оружия, многие наши ключевые ведомства, включая Госплан, были против. Однако Сталин походил, походил по кабинету, раскурил трубку и бросил: *«Надо делать»*.

Сергей Васильевич после войны писал: *«Сентябрь 1942 г. Немцы дошли до Волги, до Кавказа. Шла напряженнейшая работа по самым актуальным для того времени темам: танковая броня, взрывчатые вещества, горючее для танков и авиации... И люди, и сырье, и материалы – всё мобилизовано до предела. И тут поступает предложение развернуть работу в совсем другой, новой, почти фантастической области»*.

Распоряжение ГКО, предусматривавшее организацию при Академии наук СССР специальной лаборатории атомного ядра, создание лабораторных установок для разделения изотопов урана и проведения комплексных экспериментальных работ,

И.В. Сталин подписал 28 сентября 1942 г. Мало кто тогда понимал, что это означает на практике, а фактически в СССР тогда дали старт работам по созданию собственной атомной бомбы, сопутствующих производств, поскольку разведка представила документы о том, что подобные масштабные работы в обстановке строгой секретности развернулись в США. Таким образом, этот день считается Днём рождения российской атомной энергетики, его торжественно отмечают в отрасли.

Одна из важных проблем состояла в том, что урановая руда – как уже знали наши ученые, являвшаяся главным сырьем для будущей атомной промышленности - нигде в Советском Союзе не добывалась. Хотя 27 ноября 1942 г., т.е. спустя два месяца после принятия предыдущего документа, ГКО и утвердил постановление «О добыче урана», развернуть масштабные изыскания долгое время не позволяла война, объемы проводимых работ до конца 1945 г. были крайне незначительны. Отсутствие урана было одним из главных факторов, на которых строились планы администрации США на их длительную атомную монополию.

В апреле 1946 г. была начата реализация программы № 1, которая координировала деятельность многих министерств, институтов и лабораторий по созданию в СССР атомного оружия. Одно из ведущих мест в этой программе заняло решение проблемы расширения добычи урана – геофизических работ по разведке и организации разработки месторождений урановых руд в различных районах страны. Ураном необходимо было обеспечить, в первую очередь, опытный реактор Ф-1 в Москве, а также промышленный реактор «А» на Южном Урале возле г. Кыштым для наработки плутония (Челябинск-40).

Уже 15 мая 1945 г. было подписано Постановление ГКО СССР о создании Горно-химического комбината № 6 по добыче и переработке урановых руд Средней Азии на базе месторождения Табошар (вблизи г. Ленинабад, Таджикской ССР). Работа велась широким фронтом – концу 1947 г. комбинат № 6 состоял уже из семи обогатительных фабрик, получавших руду из 18 рудников. Но только с середины 1950-х годов перерабатывавшаяся здесь руда стала обеспечивать основную потребность отечественных промышленных реакторов. В сентябре 1945 г. были начаты совместные работы по разработке урановых месторождений и добыче урана на предприятиях «Висмут» в Восточной Германии, а 23 ноября 1945 г. был заключен договор с Чехословакией о добыче и поставках урановой руды из Яхимовского месторождения. До начала 1953 г. почти половина урана, загружавшегося в реакторы нового поколения, выплавлялась из урановых концентратов, поступавших из Восточной Германии и Чехословакии.

В соответствии с Постановлением СМ СССР от 29 июня 1950 г. было образовано рудоуправление № 10 в месторождении урана Бештау (у г. Пятигорск, Ставропольского края), по Постановлению СМ СССР от 24 октября 1950 г. образовали комбинат № 11 на угольно-урановом месторождении Туракавак (Тянь-Шань, Киргизская ССР), а по Постановлению СМ СССР от 24 июля 1951 г. – комбинат № 9 на базе месторождений Первомайское и Желтореченское в Днепропетровской области, Украинская ССР (добыча урана там была начата еще в 1948 г.). В 1947 г. началось строительство урановых рудников в Магаданской области на месторождениях у реки Колыма.

Следует добавить, что в 1951-1953 гг. геологи нашли новые месторождения урановой руды в Читинской области и на берегу Каспийского моря вблизи г. Шевченко. Для уранодобывающих объектов в те годы капиталовложений не жалели (например, в 1946 году они составили более 30 % от всех средств, вложенных в предприятия,

ответственные за производство делящихся материалов – поистине колоссальные средства). И это вскоре принесло плоды.

Добыча А-9 (как тогда зашифровывался природный уран или «кремнил», как он именовался в технической документации на приборы) представляла собой комплекс весьма сложных процессов. Сюда входили не только поиск месторождений урановых руд, пригодных для промышленной разработки, оконтуривание рудных тел, радиометрическое опробование руды на месте залегания и определение в нем запасов урана, извлечение исходной руды, и радиометрическое ее обогащение при помощи рудосортировочных машин или сепараторов. Цель работ на последней стадии – удаление из горной массы возможно большего количества пустой породы (в том числе так называемых «хвостов» с содержанием урана в руде менее 1 %), и разделение остальной рудной массы (кусков относительно больших размеров – 400 мм и более) на радиометрических контрольных станциях, а также радиометрической сепарации (после дробления до размеров кусков 15 – 30 мм и получения концентрата) на несколько сортов по содержанию урана с тем, чтобы создать наиболее благоприятные условия для дальнейшей переработки «кремнилы» на химических производствах.

Поиск, разведка и разработка полезных ископаемых представляли и представляют сегодня сложный многостадийный процесс, имеют свою специфику. Для выполнения этих работ была организована разработка аппаратуры различного типа, получившей наименования ядерно-геофизическая. К ней относились:

- поисковые приборы и установки – носимые, самолетные и автомобильные радиометры для выявления аномалий поля естественной радиоактивности и крупномасштабного оконтуривания месторождений;

- разведочные приборы и установки – каротажные радиометры для опробования наземных скважин, носимые каротажные радиометры для опробования мелких скважин и шпуров в рудниках, а также носимые радиометры, предназначенные для оценки и подсчета запасов урана по месторождению в целом, по локальным зонам и блокам;

- приборы и установки предварительного обогащения – для опробования рудной массы в вагонетках или самосвалах, для рудоконтрольных станций, мелкопорционной и покусковой сортировки руды на транспортере, для автоматических сепараторов, а также для контроля содержания урана в пульпе и растворах (при обогащении руды в естественном залегании), необходимые для предварительного обогащения руды и селекции рудной массы;

- лабораторные приборы для анализа порошковых проб на различных стадиях процесса поиска, разведки и переработки урановых руд.

Особенностью поисковых и геологоразведочных приборов является необходимость их эксплуатации в движении, полевых или рудничных условиях. Подобная аппаратура устанавливается на некий автономный движущийся объект, накапливающий со временем информацию. Ее обработка в виде массива, полученного от многих объектов и на протяжении длительного временного промежутка, позволяет получить искомый результат: запасы руды, объемные контуры месторождений, контрастность, и т.д.

В конце 40-х – начале 50-х годов XX века, т.е. до основания ЦКБ-1 и тем более НИИ-1, необходимую ядерно-геофизическую аппаратуру создавали по заказу Первого Главного управления Министерства геологии СССР и Второго Главного управления при СМ СССР в нескольких конструкторских и производственных коллективах (кураторами работ являлись Н.И. Гусев, Е.Е. Петренко, В.Я. Холмин и др.). Разработка практически всех приборов проводилась по Постановлениям ЦК КПСС и СМ СССР.

В отделе измерительных устройств, а с 1951 г. в СКБ-2 завода № 528 (впоследствии, Московский радиозавод Министерства промышленности средств связи СССР, начальник СКБ А.А. Володин, разработчики, в основном впоследствии сотрудники СНИИП, С.И. Бабиченко, Л.С. Журина, М.Л. Каган, И.П. Карпинский, И.И. Крейндин, В.Л. Левин, Д.Д. Сачков, Б.И. Хазанов, А.И. Шилдин, Е.Л. Эйдлин и др.) разработали и внедрили в серийное производство более 20 типов приборов.

В их число входили поисковый радиометр «Байкал», рудничный радиометр «Долина», радиометры с повышенной чувствительностью «Застава» и «Свет», портативный поисковый радиометр на безнакальном тиратроне «Яуза», рудничный счетный радиометр «Имандра», каротажная станция «Эмба», легкие каротажные станции КРЛ «Ильмень», «Колыма» и «Истра», тяжелая каротажная станция КРТ «Лица». Приборы выполнялись со счетчиками Гейгера и по достаточно простым электрическим схемам на прямонакальных экономичных пальчиковых лампах. Они содержали усилитель импульсов счетчика гамма-квантов, измеритель средней частоты с индикацией по стрелочному прибору, электромеханический счетчик импульсов, каскад звуковой индикации с наушниками и высоковольтный преобразователь для питания счетчика Гейгера. Но даже при создании такой аппаратуры в те годы возникали относительно непростые задачи, которые удалось успешно решить. Так, в рудничном радиометре «Имандра» потребляемую мощность вскоре после начала производства существенно снизили благодаря использованию счетной схемы на безнакальных тиратронах (по ним же осуществлялась индикация состояния счетчика).

О том, как проходила работа сотрудников СНИИПа в командировках на рудниках, с чем им приходилось сталкиваться, можно судить по воспоминаниям Б.И. Хазанова, которого с поисковым рудничным прибором «Имандра» отправили на Желтореченский комбинат.

*«В эту командировку мне пришлось спускаться в урановую шахту, на глубину несколько сот метров. Я как-то не представлял, что меня ждет. Нарядился в брезентовую робу, надел каску, получил шахтерский светильник (именно светильник, а не лампочку, чтобы по яркости пламени можно было заметить повышение концентрации метана), у подъемника проверили наличие спичек... Зашел в клетку лифта. Сопровождавший меня Л.Н. Посик сказал непонятную фразу: “Ну, Борис, держись за пуговицу” и лифт рухнул вниз. Именно рухнул, у меня куда-то вверх поднялась диафрагма, и только по мельканию встречных лампочек я понимал, что мы спускаемся. Потом лифт остановился, и мы вышли в штрек.*

*Все оказалось вполне приличным: горели лампы дневного света, бегали вагонетки... Дальше для освещения использовались уже обычные тусклые лампочки, а потом, когда по лестницам поднялись на другой горизонт, и их не стало. Зажгли шахтерки. Вдруг раздался свисток, в лицо ударил горячий воздух и шахтерки погасли. Оказалось, что технология добычи руды была очень простая: проходчики бурили шпурсы (из-за пыли за несколько метров к ним подойти нельзя), закладывали в них взрывные патроны, а обвалившуюся руду измельчали, используя взрывчатку. На пути вверх мы выстояли вместе с другими чумазыми шахтерами длинную очередь на подъемник, поднялись на поверхность (мы сели в нижнюю клетку подъемника, а когда на погрузку установили верхнюю клетку, лифт опустил, ударился о воду, и я прикусил свой язык), помылись и переоделись. Так прошло мое боевое крещение.*

*На следующий день я, чтобы уклониться от нового спуска, сказался больным, но это ни на кого не подействовало: «Давай, давай, не симулируй...!». Пришлось идти, хотя теперь я хорошо понимал, что мне предстоит, и энтузиазма от нового*

*посещения шахты никакого не испытывал. Как мне рассказывали бывшие десантники, не случайно, самый страшный прыжок с парашютом – второй, поскольку в первом просто не представляешь, что тебя ждет...»*

Носимый поисковый прибор «Байкал» мог считаться портативным, а переносные легкие каротажные станции позволяли производить каротаж скважин глубиной до 100 м, а автомобильные тяжелые каротажные станции – скважин глубиной до 1 км с записью результатов измерений на самописец с синхронизацией движения ленты и перемещения зонда (гильзы) со счетчиками Гейгера. Были решены задачи выполнения каротажных зондов, работавших при значительном гидростатическом давлении, достигавшем  $100 \text{ кг/см}^2$ , и передачи импульсных сигналов по каротажному кабелю.

Созданную аппаратуру с успехом использовали при геофизических работах и первичной переработке руды на урановых месторождениях и рудниках в Средней Азии (Табашарский рудник и месторождение вблизи озера Иссык-Куль), на Украине (Первомайское и Желтореченское месторождения), на Северном Кавказе (у горы Бештау), в Эстонии (сланцевые месторождения у г. Силламяэ) и других местах. Рудосортировочными радиометрами «Вятка», которых выпустили более 1000 единиц, оборудовали почти все радиометрические обогатительные фабрики СССР и ряда социалистических стран.

В Лаборатории измерительных приборов – ЛИПАН СССР (ставшей впоследствии Институтом атомной энергии им. И.В. Курчатова, затем НИЦ «Курчатовский институт») группой сотрудников под руководством Г.Р. Гольдбека (в которую входили три специалиста, ставших впоследствии сотрудниками СНИИП – В.В. Матвеев, А.Д. Соколов и Р.С. Шляпников), в начале и середине 1950-х годов разрабатывались поисковые носимые, автомобильные и самолетные приборы для разведки месторождений руд естественных радиоактивных элементов с отдельным определением урановых и ториевых руд.

Эти же сотрудники предложили метод определения содержания урана, тория и радия в радиоактивных рудах, который успешно реализовали в пороговом лабораторном избирательном радиометре. В приборе одновременно измерялись уровни бета- и гамма-излучений, испускавшихся веществом исследуемой пробы, в том числе плотность потока полного гамма-излучения и жесткого гамма-излучения с энергией, превышавшей заданную. Проба размещалась во внутренней полости детектора, содержавшего два ряда тонкостенных счетчиков Гейгера. Выделение жестких гамма-квантов производилось отбором совпадений сигналов от счетчиков внутреннего и внешнего колец, регистрировавших гамма-кванты и электроны, которые возникали в результате комптоновского рассеяния первичных гамма-квантов.

Помимо приборов на основе счетчиков Гейгера этой группой были разработаны на основе жидкостных сцинтилляционных счетчиков объемом до 30 л высокочувствительные двухканальные автомобильный поисковый радиометр «Автограс» и самолетный радиометр «Авиаграс». Приборами регистрировали отдельно мягкую и жесткую составляющие гамма-излучения, что позволило использовать эту аппаратуру не только для поисков и идентификации месторождений урановых и ториевых руд, но и для отработки радиометрического метода поиска месторождений нефти и газа.

Еще одним коллективом, сформированном в 1948 г. СКБ на заводе № 696, впоследствии Московском заводе измерительной аппаратуры (гл. инженер завода Л.Я. Федерман, начальник лаборатории И.И. Прагер, разработчики, многие из которых впоследствии стали сотрудниками СНИИП – В.Г. Бобылев, А.П. Воронин, Н.А. Голованов, В.С. Жернов, И.С. Крашенинников, В.А. Митюнин, Б.В. Немировский, М.Н. Николас, А.А. Поздняков, А.П. Чуйков и другие), были созданы и впоследствии выпускались приборы

для автоматической сортировки и обогащения урановых руд и для экспресс-анализа руд в порошковой фракции и в вагонетках.

В их число входили разработанные в 1950 г. радиометры для автоматической сортировки обогащенных радиоактивных руд «Тополь» и для анализа по гамма-излучению и автоматической сортировки урановой руды в вагонетках по процентному содержанию урана в руде «Дуб», разработанные годом спустя приборы для массового радиометрического контроля кондиционных руд с содержанием урана от 0,5 до 50 % прибор «Осина» и для количественного анализа порошковых и штучных проб по бета- и гамма-излучениям руд «Греб», а также переносной поисковый радиометр «Верб» и др. Занятые в этих работах вскоре стали основой образованного в 1952 г. коллектива ЦКБ-1.

К концу 50-х годов в ЦКБ-1 в содружестве с сотрудниками НИИ-10 (В.П. Бовин, И.Н. Иванов, Л.Н. Посик, С.Г. Троицкий, В.Л. Шашкин) было разработано несколько приборов, обладавших улучшенными характеристиками по сравнению с предшествующей аппаратурой: переносной поисковый радиометр РПП-1, рудосортировочные радиометры ОРГ-59 «Вятка», РСР-3 «Стрела», РСР-6 «Стенд» и другие, каротажный радиометр КРС... В те годы сотрудники смогли расширить возможности многих других приборов.

Созданный на год ранее нашего предприятия НИИ-10, впоследствии Всесоюзный НИИ химической технологии (ВНИИХТ), стал единственным в стране научным учреждением, осуществляющим полный цикл научно-исследовательских и опытно-промышленных работ по разработке технологий и созданию на их основе промышленных производств по переработке урановых, литиевых, бериллиевых и других редкометалльных руд с получением урана, лития и их соединений, а также конструкционных металлов в интересах атомной энергетики, оборонной и атомной промышленности СССР, а также других отраслей народного хозяйства.

Сотрудничество с НИИ-10 позволило включить новый функционал в наши разработки. Например, область применения носимого радиометра РПП-1 была расширена путем укомплектования его двумя типами датчиков, регистрировавших гамма- и бета-излучения: в приборе предоставлялась возможность подстройки чувствительности при помощи контрольного радиоактивного препарата.

Чувствительность аппаратуры была повышена благодаря увеличению числа счетчиков Гейгера в детекторах и компенсации фона. Так, например, в радиометрах РСР-3 и РСР-6, предназначенных для анализа содержания урана в рудах в больших емкостях (вагонетках и автомашинах), использовались несколько кассет площадью 0,7 м<sup>2</sup> с 25 счетчиками Гейгера в каждой, равномерно распределенных по кассете, с компенсацией показаний, обусловленных фоном. Детекторы радиометра «Вятка», предназначенного для работы с сортирующими устройствами транспортерного типа («Вятка-РАС») и для работы с сепараторами ячейкового типа («Вятка-РМ»), содержали по девять счетчиков Гейгера. Радиометры для рудосортировочных машин успешно эксплуатировались в течение многих лет и дали значительный экономический эффект.

Важным этапом в развитии ядерно-геофизической аппаратуры явилось использование в ней импульсных пропорциональных детекторов – сцинтилляционных счетчиков, а также изменение элементной базы приборов, связанное с переходом от ламповой техники выполнения схем к транзисторной. Сцинтилляционные счетчики по сравнению со счетчиками Гейгера позволили существенно повысить чувствительность приборов к гамма-излучению и, как следствие, снизить погрешность выполняемых ими измерений. Появилась возможность проводить не только интегральное измерение интенсивности гамма-излучения, но и селективное измерение гамма-излучения в определенных энергетических зонах.

Построение аппаратуры на транзисторах по сравнению с использованием вакуумных ламп позволило значительно улучшить многие параметры приборов, а именно - резко сократить потребляемую мощность, габаритные размеры и массу, повысить надежность и, как следствие, перейти к построению более сложных приборов и установок, обладающих намного более широкими функциональными возможностями (подобные приборы на вакуумных лампах были бы слишком громоздкими и ненадежными).

Возможности амплитудной селекции сигналов сцинтилляционных детекторов в ядерно-геофизической аппаратуре первоначально наиболее широко использовались для анализа содержания в пробах естественных радиоактивных элементов и продуктов их радиоактивного распада. В природных условиях в рудных и горных породах нуклиды ториевого ряда находятся в равновесии, тогда как породы, подвергающиеся выветриванию или породы рыхлых отложений, содержат эманлирующие руды с нарушенным равновесием уран – радий. Кроме того, при анализе пород с низким содержанием урана и тория необходимо учитывать наличие естественного радиоактивного нуклида  $^{40}\text{K}$ . Поэтому, был создан ряд приборов, в которых отдельное определение содержания в пробах и рудах урана, тория, радия и калия производилось по результатам измерения плотностей потока гамма-квантов в разных энергетических зонах.

Первым промышленным прибором такого типа был лабораторный сцинтилляционный анализатор ЛАС («Баксан»), разработка которого началась еще в СКБ-2 сотрудниками С.И. Бабиченко, Г.В. Зайцевой, Б.И. Хазановым и другими. Она завершилась уже в ЦКБ-1 и проводилась с участием сотрудников лаборатории приборостроения Всесоюзного института минерального сырья (ВИМС). В 1957 г. за создание этого анализатора несколько сотрудников ЦКБ-1 впервые были награждены дипломами 1-й степени ВДВ (впоследствии ВДНХ), как было записано в дипломе, «за особые достижения в области новой техники».

Вскоре сцинтилляционные детекторы стали использоваться практически во всех типах ядерно-геофизических приборов, причем сначала на вакуумных лампах, а с 1957 г. произошла полная смена элементной базы аппаратуры с внедрением транзисторов. В первую очередь она коснулась счетчиков числа импульсов, измерителей средней частоты, логических каскадов, источников питания детекторов, а вскоре распространилась и на усилители импульсов и узлы амплитудной и временной селекции. Ядерно-геофизические приборы в те годы создавались в отделе, где начальником являлся К.М. Попков, а затем И.П. Карпинский, тремя коллективами. Один из них занимался поисковыми каротажными и аналитическими приборами, второй - рудничными и предназначенными для сортировки руд в больших емкостях, а третий - рудосортировочными.

Использование сцинтилляционных счетчиков позволило также значительно повысить чувствительность носимых радиометров. В сцинтилляционном поисковом радиометре СРП-2 «Кристалл» (разработчики Л.Н. Крылов, А.В. Шифрин и др.), предназначенном для измерения плотности потока гамма-квантов при пешеходных геолого-поисковых и разведочных работах и получившем весьма широкое распространение, порог чувствительности составил 2,2 мкР/ч.

Прибор «Кристалл» удостоили в 1957 г. диплома Всемирной выставки в Брюсселе. В 1968 г. разработали следующую модель сцинтилляционного радиометра – прибор СРП-68, рассчитанного на проведение работ на поверхности, в шпурах и мелких скважинах (для чего в состав прибора ввели сменные датчики). Энергетический порог регистрируемых квантов составлял 30 кэВ, а постоянную времени интегрирования удалось снизить до 2,5 с. В конце 50-х годов сотрудники И.И. Крейндин, А.В. Шифрин и

другие разработали поисковые радиометры «Рупор», «Фон», «Ревизор», выполненные, как и прибор «Кристалл», полностью на транзисторах.

Существенно уменьшить массу носимых приборов с регистрацией числа импульсов, вырабатываемых детекторами, и снизить потребляемую ими мощность, удалось после разработки счетчиков на транзисторах и ферритах с прямоугольной петлей гистерезиса (феррит-транзисторных ячейках). В отсутствие входного сигнала эти ячейки не потребляли тока, сохраняя свое состояние произвольно долго. Выполненный в 1959 г. на транзисторах и феррит-транзисторных ячейках носимый декадно-счетный рудничный радиометр РРС «Селен» позволял проводить подсчет числа импульсов, вырабатываемых счетчиками Гейгера, в одном из нескольких сменных датчиков и осуществлять анализ руд в естественном залегании или определять радиоактивность отобранных проб. При этом прибор потреблял от батарей мощность всего 300 мВт.

Построение приборов, основанных на амплитудном отборе сигналов сцинтилляционных счетчиков, но работающих в полевых и производственных условиях при значительных колебаниях температуры окружающей среды, а также использующихся для анализов, весьма длительных по времени, выявило необходимость стабилизации усилительного тракта в аппаратуре (сцинтиллятор — ФЭУ-усилитель — каскад амплитудной селекции). Такие системы стабилизации были разработаны на основе контрольного альфа-препарата  $^{239}\text{Pu}$ , встраиваемого в сцинтиллятор, и широко использовались в аппаратуре (коллектив разработчиков возглавлял Л.Н. Крылов). Реперная линия от альфа-источника располагалась в области энергий 2,7-3,5 МэВ гамма-спектра и использовалась в цепи обратной связи для корректировки усиления (чаще всего изменением напряжения питания ФЭУ и, следовательно, его коэффициента усиления). Таким образом удавалось поддерживать неизменным коэффициент преобразования энергии гамма-квантов в выходной сигнал усилителя в течение длительного времени в пределах 1 %, а при значительном изменении температуры окружающей среды — в пределах 5 %.

Для оценки относительного содержания урана и тория в рудах на месте их залегания в 1958 г. сотрудники СНИИПа создали переносный гамма-каротажный сцинтилляционный радиометр ПРКС «Виток», позволявший осуществлять каротаж скважин глубиной до 150 м. В нем использовали описанную выше методику отдельного определения урана и тория. Аналогичный переносной аналитический радиометр АРП-3 «Ореол», обеспечивал проведение скоростного количественного радиометрического анализа содержания урана, радия и тория по гамма- и бета-излучениям в порошковых пробах руд в условиях полевой геофизической лаборатории (диапазон определения содержания урана, тория и радия в анализируемых пробах от 0,01 до 3 %, ошибка отдельного анализа в 5% для богатых и 15 % для бедных руд при времени анализа самых бедных руд не более 45 мин). В 1961 г. для тех же целей была разработана пятиканальная лабораторная спектрометрическая установка ЛСУ-5к «Лаура», в которой регистрация результатов измерений в четырех выделенных зонах гамма спектра, а также общего бета-излучения проб горных пород осуществлялась пятиканальным счетчиком числа импульсов.

В 1961 г. был разработан переносный одноканальный анализатор импульсов АИ-8 «Река» с батарейным питанием, выполненный на типовых транзисторных функциональных блоках. Он позволял осуществлять анализ в производственных и полевых лабораториях амплитудного распределения импульсов, вырабатываемых сцинтилляционным детектором, и содержал помимо линейного усилителя, дифференциального дискриминатора, линейного и логарифмического измерителя

средней частоты блок стабилизации усиления ФЭУ по линии реперного альфа-препарата. В том же году была разработана установка для определения контрастности урановых руд «Заря».

В конце 50-х—начале 60-х годов XX века была разработана и большая группа сцинтилляционных рудосортировочных радиометров различного назначения: для сортировки руды в процессе ее перемещения на группы по содержанию урана и выделению породы с малым количеством урана («хвостах»), для определения общего количества прошедшего урана, среднего содержания урана в руде и в «хвостах». В них была существенно повышена чувствительность (приблизительно в 4–5 раз с кристаллом NaI(Tl) размером 40×40 мм по сравнению с группой счетчиков Гейгера) и развиты каскады автоматики, синхронизовавшие процедуру измерения и операции рудосортировки исполнительными механизмами. Такая аппаратура существенно облегчала проведение дальнейших гидрометаллургических процессов переработки урановых руд.

Так, были разработаны многоканальная рудосортировочная установка РСР-2 («Яхрома»), предназначенная для работы в комплекте с восьмиканальной карусельной рудосортировочной машиной, и двухканальный рудосортировочный радиометр РСР-4 («Вихрь») для сортировки руды мелких классов в комплекте с ленточной транспортной машиной (разработчики И.И. Крейндли, Р.А. Маркова, М.Л. Каган и др.). Основные электронные блоки этих установок были унифицированы и включали блоки детектирования на сцинтилляционных детекторах (с кристаллами NaI(Tl) размером 40×40 мм), счетные блоки, число которых было равно числу каналов рудосортировочной машины, а также пульты, обеспечивающие контроль работоспособности установок. В радиометре РСР-2 осуществлялся учет веса сортируемого куска руды геометрическим методом, предложенным И.И. Крейндлиным, что значительно повысило эффективность работы.

В конце 1950-х годов была проведена существенная модернизация приборов «Вятка» – в этих радиометрах газоразрядные счетчики заменили сцинтилляционными, что значительно повысило чувствительность блоков детектирования и увеличило эффективность сортировки. В эти же годы велась разработка установки «Карусель» (для рудосортировочных машин карусельного типа), которая отличалась от установки «Яхрома» большим числом каналов. Для сортировки руды мелких классов был разработан транзисторный многоканальный радиометр «Автомат». В начале 1960-х годов совместно с сотрудниками НИИ-10 Л.Н. Посиком и В.П. Бовиным была разработана транзисторная установка «Скумбрия» с декатронами в качестве регистраторов, которая, по замыслу разработчиков, должна была заменить серийные радиометры «Стенд» и «Стрела».

Значительную роль в повышении производительности рудосортировочной радиометрической аппаратуры сыграли работы по использованию в ней метода последовательного анализа, основанного на теории Вальда. В устройствах, реализовавших этот метод, счет импульсов производился не за фиксированное время, а за время, когда полученная информация уже достаточна для принятия решения о соответствии уровня радиации установленным границам. Тем самым среднее время измерений, необходимых для выработки сигналов, управлявших устройствами автоматики, существенно сокращалось.

В начале 1960-х годов был расширен и круг методов измерений, на которых базировались ядерно-геофизические приборы для определения содержания урана в рудах, порошковых пробах и водных растворах. Проведение научно-исследовательских работ по темам «Лиана» и «Баобаб» позволило реализовать приборы, в которых

содержание урана в рудах и порошковых пробах определялось с помощью отпаянных пропорциональных счетчиков. Тогда же была разработана первая сцинтилляционная установка контроля параметров обогащения типа УКПО 2134-02, содержащая счетно-решающее устройство.

С годами аппаратура становилась все более сложной. В начале 1970-х годов по техническому заданию НИИ-10 (А.Н. Лебедев, М.П. Вихрев, А.Л. Еременко), с которым у СНИИПа сложилось творческое взаимодействие, проводилась разработка аппаратуры, предназначенной для автоматизации процесса записи информации с выхода каротажных радиометров с целью дальнейшей обработки в ЭВМ – АЗИ-01 «Бел» (разработчики Р.А. Маркова, Л.М. Паска, В.Т. Кониовский и др.). На высокоэкономичных интегральных схемах был разработан переносной прибор, работавший в комплекте с портативным магнитофоном, в котором информация с выхода блока детектирования записывалась на магнитную ленту. Уже в стационарных условиях информация с магнитной ленты переводилась на перфоленту для ввода в ЭВМ. Была предусмотрена работа без записи на магнитную ленту - непосредственно на перфорирующее устройство.

В значительной степени успех разработок геофизической аппаратуры определялся активным участием сотрудников СНИИП в наладке, испытаниях и опытной эксплуатации спроектированных ими приборов и установок. Например, пуско-наладочные работы радиометра РСР-2 проводились на комбинате в Тобашарах Ленинабадской области Таджикистана, на комбинате Фрунзе-33, ряде предприятий Средней Азии: у городов Ленинабад, Тобошары, Янгиабад, Красногорск, а испытания ряда рудничных и каротажных приборов – в Кировской экспедиции г. Кривой Рог и на Желтореченском комбинате, а также на многих других предприятиях.

Геофизические методы исследования, поисков месторождений полезных ископаемых, необходимых для атомной отрасли, основанные на изучении естественных или искусственно создаваемых физических полей, были чрезвычайно важными, особенно на раннем этапе развития Атомного проекта в СССР. Приборы, разработанные и созданные в ЦКБ-1, НИИ-1, СНИИПе, позволили решить очень многие задачи не только качественно, но также дать количественные оценки степени обогащения руд, облегчить проведение поисковых и геологоразведочных работ, решать другие схожие задачи.

## **НАШИ РАБОТЫ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КОСМОСЕ.**

### **КОМЕТА ГАЛЛЕЯ.**

#### **ИНТЕРВЬЮ С Л.С. ГОРНОМ**

Моя трудовая жизнь началась в 1954 г. после окончания МИФИ, где я получил диплом инженер-физика со свободным распределением. Долго не удавалось найти место приложения сил, пока не состоялась счастливая встреча с директором НИИ-1 С.В. Мамиконяном – меня приняли туда инженером. Первыми работами были создание спектрометров и избирательных радиометров для научных исследований. В 1961 г. вышла первая монография в соавторстве с Б.И. Хазановым «Транзисторы в радиометрической аппаратуре», а через два года я защитил диссертацию и стал кандидатом технических наук. Основной тематикой моих работ в дальнейшем было создание приборов для изучения космического пространства.

Как известно, освоение человеком космоса началось более 65 лет назад. Создание в нашей стране крупных и весьма эффективных ракетносителей позволило вывести на

орбиту Земли 4 октября 1959 г. первый советский спутник. Это стало новым этапом развития науки и техники. За этим последовали другие запуски, человек – наш гражданин Юрий Гагарин – также впервые побывал в космосе 12 апреля 1961 г. Со спутников Земли и автоматических станций более полувека проводились многочисленные исследования околоземного и межпланетного пространств и поверхностей других планет Солнечной системы.

Среди этих исследований большое место заняли измерения характеристик фотонного излучения, потоков заряженных частиц и молекулярных потоков, изучение радиоактивности и вещественного состава внеземных объектов. Обнаружение радиационных поясов Земли, определение структуры магнитного поля в околоземном пространстве и окрестностях других планет, характеристик солнечного ветра и вспышек Солнца явились одними из самых значительных открытий космофизики, а результаты исследований поверхностей Луны, Венеры и Марса — важнейшими открытиями для углубления понимания происхождения и развития Солнечной системы. Приятно отметить, что многих достижении удалось добиться благодаря приборам, разработанным в разные годы в СНИИПе.

Наряду с Научно-исследовательским институтом ядерной физики (НИИЯФ), Государственным астрономическим институтом им. Штернберга (ГАИШ), Радиотехническим институтом (РТИ), Институтом физики атмосферы (ИФА) АН СССР и Институтом прикладной геофизики (ИПГ) Госгидромета, наше предприятие приняло участие во многих работах, создавая сложную измерительную аппаратуру. Были направлены к Луне, Марсу и Венере первые автоматические станции (АМС) «Луна-1», «Луна-2» и «Луна-3» (1959), «Марс-1» (ноябрь 1962), «Венера-1» (февраль 1961). С искусственных спутников Земли (ИСЗ) «Электрон-1», «Электрон-2», «Электрон-3» и «Электрон-4» проводилось изучение радиационных поясов Земли (январь 1964). С начала 1960-х гг. к этой в то время весьма престижной работе было привлечено несколько коллективов СНИИП.

Создание приборов для космических исследований, предназначенных для размещения на борту космического аппарата, была для сотрудников СНИИПа необычной задачей. Эти приборы, рассчитанные на функционирование в автоматическом режиме, должны отличаться повышенной надежностью (стоимость космических экспериментов, в которых измерительные приборы играют ключевую роль, весьма высока), работать в условиях глубокого вакуума, выдерживать большие механические воздействия во время пуска ракеты-носителя, иметь малые вес, габариты и потребляемую мощность и удовлетворять требованиям по электромагнитной совместимости с другими приборами и служебными системами. Передача полученных данных с приборов для космических исследований осуществляется не по распространенным в обычной аппаратуре коммуникационным линиям, а по специальным телеметрическим каналам связи с ограниченной пропускной способностью.

Работа по новой тематике стала для меня, как, впрочем, и для большинства моих коллег, делом совершенно новым. Первенцем приборов, созданных в СНИИПе и запущенных в космическое пространство для проведения там исследований, оказался радиометр ЛА-1 с символическим шифром «Ласточка», который выполнялся по заказу ИПГ. Совместно с С.И. Бабиченко, И.Д. Ивановым, И.П. Карпинским, Б.И. Хазановым и другими специалистами мы, засучив рукава, приступили к делу.

Прибор, согласно сегодняшним понятиям, был довольно простым и содержал немного компонентов: счетчик Гейгера, окруженный полукольцом из пяти таких же счетчиков (для раздельной регистрации гамма-квантов и проникающих заряженных

частиц), два счетчика чисел импульсов, преобразователь данных для телеметрической системы и узлы питания. Однако каждый компонент прибора тщательно отработывался, многократно проверялся и испытывался. Напуганные рассказами о невероятных механических воздействиях на аппаратуру разработчики прибора все элементы монтажа залили пенополиуретаном, что создало большие трудности при наладке прибора и особенно при его доработках и ремонте.

Старания разработчиков прибора были вознаграждены: «Ласточка» проявила себя как надежный прибор и отказов в полетах не наблюдалось. Этот первый прибор открыл дорогу СНИИПу в «космический клуб»: с его помощью проводились измерения по программе изучения космоса и отработки техники дальних космических полетов на автоматических станциях «Зонд-1», «Зонд-2» и «Зонд-3», «Венера-2», «Венера-3» и «Венера-4».

Другая область интересов ученых, проводивших космические исследования (ИФА АН СССР, руководители работ Ю.И. Гальперин, О.Л. Вайсберг и др.), была связана с измерением энергетических распределений и временных вариаций заряженных частиц (электронов и протонов малых энергий), обуславливающих полярные сияния. Разработку такой аппаратуры проводил коллектив, в который входили как все те же, так и Л.С. Журина, Б.В. Поленов, А.В. Шифрин и др. Готовилась целая линейка приборов.

Первым из этого ряда был создан аппаратный комплекс «Вальдшнеп», который предназначался для исследований в приполярных областях Земли и включал шесть основных измерительных приборов. Большинство этих приборов основывалось на привычных сцинтилляционных детекторах и амплитудной селекции сигналов, вырабатываемых фотоэлектронными умножителями (ФЭУ), но учитывало особенности объекта измерений.

Так, в спектрометре протонов с энергией от 300 кэВ до 1 МэВ использовался сцинтилляционный детектор с пластическим сцинтиллятором, а в спектрометре электронов малых энергий (от 30 эВ до 8 кэВ) РИЭ-204 применялись новые элементы детектирования: отбор частиц осуществлялся цилиндрическим электростатическим анализатором, а электроны, прошедшие на выход анализатора, ускорялись в дополнительном электрическом поле до энергии 20 кэВ и затем регистрировались детектором. В конце 1960-х — начале 1970-х гг. по оценкам отечественных и зарубежных специалистов этот прибор был самым чувствительным в мире среди аппаратуры аналогичного назначения.

В спектрометре ионов малых энергий (от 30 эВ до 8 кэВ) использовалась совершенно непривычная для СНИИПа техника выполнения широкоугольных детекторов коллекторного типа с тормозящим полем (сетками) для отбора ионов по энергии и модуляцией потока частиц, попадающих на коллектор, для нейтрализации фона, обусловленного действием на детектор видимого и ультрафиолетового излучений Солнца.

После создания в 1959 г. Межведомственного научно-технического совета по космическим исследованиям при Академии наук СССР во главе с академиком М.В. Келдышем, на который возложили разработку тематических планов по созданию космических аппаратов и выдачу основных тематических заданий, началась научно-техническая координация работ по исследованию и освоению верхних слоев атмосферы и космического пространства, подготовка вопросов организации международного сотрудничества в космических исследованиях.

Комплексы «Вальдшнеп» использовались на ИСЗ «Космос-261» и «Космос-348». С помощью этой аппаратуры было проведено изучение потоков заряженных частиц, вызывающих полярные сияния, потоков электронов сверхтепловой энергии, вариаций плотности верхнего слоя атмосферы во время сияний, верхней атмосферы Земли и природы полярных сияний, а спектрометр РИЭ-204 использовался, кроме того, и для измерений на ИСЗ «Прогноз-3» потоков плазмы в дальней магнитосфере и вне ее. Таким образом, была выполнена важная работа для науки и Министерства обороны СССР.

В 1960-е годы мы делали только первые шаги в данном направлении. Однако временами задачи ставились буквально на уровне фантастических сценариев. Так, в середине того, насыщенного работами десятилетия велась подготовка полета экипажа из трех космонавтов к Марсу продолжительностью три года и страховочным сроком полета шесть лет на случай возникновения на борту нештатных ситуаций. Удивительно, но мы тогда были гораздо ближе к реализации проекта, чем сегодня, почти 60 лет спустя.

Для этого в Институте медико-биологических проблем Минздрава (ИМБП) СССР создали прототип марсианского обитаемого корабля для имитации полета — наземный экспериментальный комплекс. Привлеченный к созданию аппаратуры СНИИП разработал аппаратуру «Пеликан» для оснащения этого комплекса и проведения экспериментов, связанных с предполагавшимся полетом. В ее состав входили системы дозиметрического контроля и имитации радиационной обстановки, измерители индивидуальной дозы с термолюминисцентными дозиметрами, спектрометры протонов и линейных потерь энергии.

#### **Участие в программе «Комета Галлея»**

Большим успехом СНИИПа, как и всей отечественной науки и техники, оказалась разработка по заданию ИКИ РАН (руководил экспериментом О.Л. Вайсберг) и изготовление прибора СП-1 и блока БД-3 для исследования кометы Галлея по проекту «Вега». Хотелось остановиться на данной теме подробнее. Комета — необычное небесное тело. Она, названная в честь английского астронома Эдмунда Галлея, являлась первой, для которой ученые определили эллиптическую орбиту и установили периодичность возвращений. Несмотря на то что каждый век появляется много более ярких долгопериодических комет, комета Галлея — единственная короткопериодическая комета, хорошо видимая невооруженным глазом. Начиная с древнейших наблюдений, было отмечено по меньшей мере 30 появлений этой кометы.

Первое достоверно идентифицируемое наблюдение кометы Галлея относится к 240 году до н.э. Последнее прохождение кометы через перигелий произошло 9 февраля 1986 г., и ученые решили в максимальной степени использовать момент для изучения «небесной гостьи». Тогда она стала первой, исследованной с помощью космических аппаратов, в том числе советскими межпланетными станциями «Вега-1» и «Вега-2». Название «Вега» было образовано соединением первых слогов слов «Венера» и «Галлей», поскольку проект предусматривал изучение обоих космических объектов.

Научным руководителем проекта стал директор ИКИ РАН академик Р.З. Сагдеев, который привлек к совместным работам специалистов американской NASA и французского Национального центра космических исследований (CNES). Но основной вклад в разработку и успешное осуществление проекта и всей программы «Вега» принадлежал главному конструктору НПО им. С.А. Лавочкина члену-корреспонденту АН СССР В.М. Ковтуненко, который являлся главным конструктором и техническим

руководителем проекта «Венера — комета Галлея». Он и его коллектив смогли создать выдающиеся космические автоматы-роботы, обеспечившие всесторонние и, пожалуй, наиболее успешные программы полетов в дальний космос в советской истории. Активное участие в работах принял участие СНИИП, а точнее сотрудники отдела 103, где я тогда работал.

Прибор СП-1 («Галка») измерял распределение пылевых частиц по массам на различных расстояниях от ядра кометы и позволил исследовать механизм выброса пылевой компоненты из ядра кометы и ускорения частиц под влиянием различных факторов. В приборе был использован принцип, в соответствии с которым при ударе о мишень детектора пылевая частица взрывообразно испаряется и создает плазменное облако с суммарным зарядом, пропорциональным массе частицы. Два детектора, один из которых экранировали пленкой микронной толщины, содержали золотые мишени площадью  $100 \text{ см}^2$  и систему коллекторов, расположенных перпендикулярно к мишени. В 14 каналах производилась селекция сигналов по величине заряда от  $3 \cdot 10^{-13}$  до  $10^{-8}$  Кл и, таким образом, рассчитывалось распределение частиц по массам в пределах от  $3 \cdot 10^{-17}$  до  $10^{-11}$  грамм.

Блок БД-3 («Галка-2») определял концентрацию и состав кометной плазмы и позволял исследовать влияние солнечного ветра на комету. Он входил в состав советско-польско-чешского прибора АПВ-Н для комбинированной диагностики плазмы. Блок измерял как медленно меняющиеся, так и переменные токи в цепях пяти коллекторов ионных зондов, что позволяло определять плотность интегрального потока и угловую направленность потока частиц, оценивать энергию частиц и анализировать низкочастотные компоненты колебаний плазмы в большом диапазоне частот от 0,1 до 1000 Гц.

Проект «Вега» оказался впечатляющим и исключительно успешным. Запущенные в декабре 1984 г. с разницей в шесть дней автоматические межпланетные станции (АМС) «Вега-1» и «Вега-2» вышли на траекторию полета к Венере. По мере их приближения к цели специалисты постоянно уточняли взаимное положение космических аппаратов и кометы и корректировали траектории движения станций. Обе АМС, пролетев 1 млрд 200 млн км и пройдя рядом с Венерой, после 15-месячного полета вошли в контакт с пылевой оболочкой кометы Галлея и пронесли со скоростью 80 км/с на расстоянии 8200 км от ее ядра.

Точно зная время полета, директор ИКИ РАН пригласил всех причастных к данному эксперименту в свой институт, где были организованы многочисленные дисплеи, принимавшие на Земле информацию в режиме реального времени. В положенное время заняли места в огромном зале также наши сотрудники и мои коллеги: Д.С. Захаров, М.В. Иовлев, Б.И. Хазанов.

По большим настенным часам присутствовавшие следили за приближением космического объекта к летящим аппаратам. Наконец, наступило время «Х», но на экране ничего не появилось. Но волнения создателей аппаратуры и ученых оказались напрасными: как служебная аппаратура, так и научные приборы выдержали длительный полет и работали отлично. Не подвела и телеметрия. Сотрудники СНИИПа, присутствовавшие в центре приема информации, отметили разницу между расчетным и фактическим временами прохода через ядро кометы. Как оказалось, никакой ошибки тогда не было: радиосигналы проходили расстояние в 80 млн км от станции до Земли за 15 мин!

На Землю поступили уникальные данные о физико-химических свойствах ядра кометы и процессах, происходящих в окружающей ее газопылевой оболочке (комета Галлея прилетает в нашу Солнечную систему раз в 75—76 лет).

Вскоре отечественные газеты и журналы были полны статьями, например, «Веги в неизведанном мире», «Штурм кометы Галлея», «Знаменательная веха для мировой науки», «Уникальный научный эксперимент»... Сообщали о крупном научном успехе также в Европе и США. Цветные фотоснимки ядра кометы опубликовали практически все профильные издания мира.