

ГЛАВА 2

КАК ФОРМИРОВАЛИСЬ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ИНСТИТУТА

АТОМНАЯ ОТРАСЛЬ – ЛОКОМОТИВ РАЗВИТИЯ РОССИИ

к.т.н. Хазанов Д.Б.

В 2021 году по данным Министерства энергетики Российской Федерации в нашей стране было выработано 1131 ТВт·ч электроэнергии, что составляло чуть более 4 % мирового производства этого вида продукции. Сегодня Россия занимает четвертое место в мире и первое место среди европейских стран по выработке электроэнергии. Лишь 332-миллионные США, да еще Китай и Индия с их почти полутора миллиардным населением в каждом из указанных государств опережают Российскую Федерацию в этом отношении. Пятая часть электроэнергии (222,4 ТВт·ч в 2021 году) производится в нашей стране на атомных электростанциях (АЭС). Теплоэлектростанции, работающие на газе, вырабатывают электроэнергии в 2,23 раза больше, а на угле – примерно в 1,09 раза меньше, чем АЭС. Вклады гидроэнергетики и атомной энергетики в производство электроэнергии приблизительно одинаковы. Доля солнечной и ветроэнергетики в нашей стране пока невелика и не превышает 0,5 % суммарного годового «выхода».

Заметим, что в 1990 году в РСФСР было выработано 1082,2 ТВт·ч электроэнергии. Как видно, суммарный рост выработки за тридцатилетний «постсоветский» период в России оказался невелик. Однако суммарная мощность АЭС выросла в полтора раза: с 20,2 ГВт в 1991 году до 30,3 ГВт в 2019 году. К 2045 году запланировано увеличение вклада АЭС в производство электроэнергии до 25 %, и это с учетом необходимости компенсации «выпадающих» мощностей из-за окончания срока службы реакторов РБМК на Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС, реакторов ВВЭР-440 на Кольской и Нововоронежской АЭС, а также энергоблоков ЭГП-6 на Билибинской АЭС.

В отличие от ряда западных стран и Японии, где от ориентации на ядерную энергию отказались полностью или частично, в нашей стране приняты во внимание несомненные достоинства АЭС, и атомная отрасль получила дальнейшее развитие. В условиях экологического кризиса, с которым мировое сообщество вошло в XXI век, атомная энергетика способна внести значительный вклад в обеспечение надежного электроснабжения, а также в снижение выбросов в окружающую среду парниковых газов и загрязняющих веществ. Установлено, что в среднем при производстве 1 кВт·ч электроэнергии на АЭС выделяется 29 г углекислого газа, что значительно меньше, чем выделяют ТЭС при сжигании ископаемого топлива (каменный уголь – 888 г CO₂, бурый уголь – 1054 г CO₂). АЭС практически не генерирует метан, который является вторым по значимости парниковым газом.

Другим важным «плюсом» АЭС считается высочайшая выходная мощность в расчете на единицу массы используемого топлива. К примеру, активная зона реактора типа РБМК электрической мощностью 1000 МВт, достаточной для снабжения энергией города с населением около полумиллиона человек, содержит примерно 186...189 т слабообогатенного (2,6...3 %) урана. За один год при значении коэффициента используемой мощности (КИУМ), равном 0,7, энергоблок с РБМК вырабатывает 6,13 ТВт·ч электроэнергии; для получения такого же результата на ТЭС нужно сжечь 2,7...3,2 млн т

каменного угля! В сутки на такую ТЭС должно приходиться по три 60-вагонных состава, а каждый вагон должен содержать 50...60 т высококачественного угля.

Еще одним достоинством АЭС являются низкие значения... выбросов радиоактивных элементов! Установлено, что природный уголь содержит уран, торий и другие радиоактивные вещества. Результаты расчетов и натурных измерений свидетельствуют, что средние индивидуальные годовые дозы облучения в районе расположения ТЭС мощностью 1 ГВт составляют 6...60 мкЗв, а в зоне вблизи АЭС – 0,004...0,08 мкЗв (для ВВЭР) и 0,015...0,13 мкЗв/год (для РБМК). Отсюда следует нетривиальный для большинства людей вывод - АЭС является намного более экологически чистым источником энергии, чем тепловые электростанции.

Несмотря на имевшие место аварии, случающиеся при внедрении любой новой технологии, атомная энергетика показала свои потенциальные возможности и экономическую конкурентоспособность, стабильность и надежность эксплуатации, жизнеспособность, безопасность (при грамотном использовании) для человека и окружающей среды, а недавно в нашей стране была на практике доказана возможность создания замкнутого топливного цикла.

Многие развивающиеся страны, в том числе Индонезия, Малайзия, Таиланд, Вьетнам, Турция, Нигерия, обладающие несомненным потенциалом экономического роста, выразили намерение создать в скором времени полноценный ядерный сектор, поэтому ожидание мирового «ядерного ренессанса» кажется сегодня вполне уместным. Эти и другие заинтересованные государства формируют огромный по емкости рынок поставок ядерного оборудования, материалов и технологий, в котором, несомненно, российские атомщики найдут свое место уже в ближайшей перспективе.

Практика последних десятилетий показала, что до тех пор, пока острого дефицита энергоресурсов не ощущалось, можно было искать альтернативные источники в разных областях, прежде всего, в области возобновляемых источников, повышая эффективность, представляя разные популистские варианты, но все это были полумеры. Как только напряженность на рынке энергоресурсов приобрела реальные очертания, стало очевидно, что реально заменить атомную энергетiku в широких масштабах нечем. Кстати, помимо всего прочего, атомная электростанция – это еще и один из самых красивых промышленных объектов, созданных человечеством.

Рассмотрим историю вопроса. Исходным импульсом для развития отечественной ядерной отрасли, как известно, стала необходимость создания собственного ядерного оружия в ответ на нависшую угрозу со стороны Западных государств, прежде всего, США. Промедление или бездействие могли привести к тому, что некоторые крупные советские города разделили бы участь Хиросимы и Нагасаки. Руководство СССР понимало: даже атомный шантаж нельзя было допустить ни в каком виде. Ученые, инженеры, все задействованные в грандиозном проекте специалисты блестяще справились с задачей – первая советская атомная бомба была успешно испытана в августе 1949 г.

«Отцом» нашего супероружия стал академик И.В. Курчатов. И именно он выступил с инициативой использования энергии деления ядра в мирных целях, предложил руководству страны проработать и решить вопрос о том, как заставить колоссальную высвобождающуюся атомную энергию служить на благо людям, превратив ее в тепло и электрический ток. Сам Игорь Васильевич и возглавил работу по созданию отечественной атомной электростанции. В статье ТАСС, опубликованной в газете «Правда» 30 июня 1954 г., в подчёркнуто спокойном тоне сообщалось: «В Советском

Союзе усилиями учёных и инженеров успешно завершены работы по проектированию и строительству первой промышленной электростанции на атомной энергии полезной мощностью 5 тысяч киловатт. 27 июня атомная станция была пущена в эксплуатацию и дала электрический ток для промышленности и сельского хозяйства прилежащих районов». Трудно переоценить значение данного грандиозного достижения, поскольку работы начались в тяжелые послевоенные годы при жестком дефиците всех средств.

При создании первого энергетического реактора, названного АМ-1, использовали тот же принцип, который применялся в первом отечественном графитовом реакторе Ф-1, запущенном в эксплуатацию на территории Лаборатории № 2 в конце 1946 г. Как известно, первенец отечественного реакторостроения имел очень небольшую мощность и использовался для проведения экспериментов по получению плутония с целью изучения его свойств, а также влияния радиоактивного излучения на различные материалы. В окончательном проекте конструкция реактора АМ-1 выглядела следующим образом. Графитовая кладка реактора имела диаметр 3 м и высоту 4,5 м. Активная зона высотой 1,7 м и диаметром 1,5 м была набрана из вертикально стоящих шестигранных блоков с центральными отверстиями, в которые вводились топливные каналы (всего 128 единиц). В первой партии топливных каналов, загруженных в реактор, содержалось 546 кг урана 5%-ного обогащения ураном-235. Топливо было в виде крупки из уран-молибденового сплава (9% молибдена), залитой расплавленным магнием. Любопытно, что турбогенератор первой отечественной АЭС был трофейным немецким, выпущенным фирмой BMW еще в начале XX века.

Важным шагом на пути к созданию системы квалифицированного управления нарождавшейся атомной отраслью стало создание 26 июня 1953 года (согласно указу Президиума Верховного Совета СССР) Министерства среднего машиностроения СССР, или Средмаша. Первым министром назначили видного государственного деятеля В.А. Малышева, а с 1957 по 1986 год, на протяжении почти 30 лет, министерство возглавлял Е.П. Славский, впоследствии трижды Герой Социалистического Труда.

В Минсредмаше разработали большую программу развития, рассчитанную на несколько десятилетий. С одной стороны, решение организационных вопросов, рывок в области технологий, связанных с созданием ядерного оружия, способствовал переходу к практическому промышленному использованию идеи деления ядер в различных отраслях; с другой стороны, опасения, связанные с освоением любых новшеств, не следовало недооценивать (как, например, при начальном использовании любых самодвижущихся средств), причем масштабы прямых ущербов от выхода из-под контроля новых энергоисточников впоследствии оказывались меньшими, чем социальные последствия разных аварий.

Тогда, казалось, атомную энергетику ждало стремительное поступательное движение, но не все удалось осуществить по чисто техническим и иным причинам. Так, намеченный на 1960 г. уровень установленной электрической мощности АЭС в 2175 МВт пришлось вскоре уменьшить до 1300 МВт, а от сооружения ряда объектов руководство Средмаша было вынуждено вовсе отказаться. Впрочем, в 1965 году был принят весьма амбициозный государственный план строительства АЭС на 10-летний период, предусматривавший наращивание суммарной электрической мощности атомной энергетики в СССР до 11,9 ГВт.

Вслед за АМ-1 были построены первые блоки корпусных водо-водяных энергетических реакторов ВВЭР-210 для Нововоронежской АЭС, каналные графитовые реакторы с перегретым паром АМБ-100 для Белоярской АЭС и корпусной кипящий

реактор ВК-50, ставший уникальной исследовательской установкой в НИИАР (в Димитровграде). Также следует добавить, что в 1963 г. приступили к разработке опытного реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БН-600, хотя первоначально хотели построить графитовый реактор с охлаждением углекислым газом ЭГ-300) для Белоярской АЭС, а годом позднее в городе Шевченко началось сооружение БН-350, аналогичного БН-600.

Выступая в августе 1968 г. на открытии VII мирового энергетического конгресса академик А.П. Александров сказал: «Энергетика является одной из важнейших для человечества областей научно-технического творчества... Наш конгресс происходит в знаменательный период, когда техника начала применять для пользы людей новые энергетические ресурсы, энергию, освобождаемую при превращении атомных ядер. Хотя в настоящее время за счет ядерных реакции покрывается менее 1% мирового потребления энергоресурсов, это важный зародыш нового крупнейшего направления развития.

Дамоклов меч топливной недостаточности, угрожавший развитию материальной культуры уже в сравнительно недалеком будущем, устранен на практически неограниченное время. Конечно, принципиальная возможность привлечения новых ресурсов еще не является решающей. Кроме физической и технической возможности необходимо, чтобы использование новых ресурсов было экономически целесообразно, чтобы они оказались конкурентоспособны с традиционными. Действительно, за прошедшие с пуска в СССР первой экспериментальной электростанции 14 лет был внесен большой творческий вклад в развитие АЭС... Он привел к тому, что энергия деления тяжелых ядер сделалась вполне конкурентоспособной с другими видами топлива в тех районах, где требуется дальняя и дорогостоящая транспортировка...»

В 1973 г. на Ленинградской АЭС запустили первый блок с реактором РБМК-1000, т.е. реактором большой мощности канальным, где 1000 – его электрическая мощность в мегаваттах. РБМК-1000 стал первым крупномасштабным энергетическим объектом, вырабатывавшим в 200 раз большую мощность, чем первый в мире промышленный реактор АМ-1. Попробуем грубо оценить: много или мало 1000 мегаватт? Оказывается, четыре таких работающих энергоблока наполовину обеспечивают такой крупный город, как Санкт-Петербург, «северную столицу страны». При этом, в общих чертах устройство РБМК осталось примерно таким же, как у первых отечественных графитовых реакторов.

При всех достоинствах подобного типа установок, в первую очередь, связанных с относительной дешевизной, у них есть и определенные недостатки. Например, такие реакторы лишены корпуса, имеют всего один контур (что негативно влияет на безопасность), они не могут быть установлены на подводные лодки и надводные корабли. А водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР), первоначально создававшиеся для подводных лодок и надводных кораблей, как шутят атомщики, «неплохо устроились на суше и прекрасно себя чувствуют». Конечно, в составе атомных электростанций используют более крупные и мощные установки, но их устройство принципиально осталось прежним, как и на первой отечественной атомной подводной лодке К-3 «Ленинский комсомол», – этот корабль еще в июле 1958 г. дал ход на основе использования энергии ядерной реакции.

Вслед за ВВЭР-210 последовали более мощные реакторы типа ВВЭР-440, а 30 мая 1980 г. был пущен первый реактор ВВЭР-1000. Наряду с РБМК-1000 он стал одним из флагманов советской, а затем и российской ядерной энергетики. Именно этот проект оказался наиболее перспективным, его модернизированные варианты определяют

нынешний высокий статус атомной отрасли страны, ее перспективы. Обычно на станциях такие реакторы – двухконтурные, но количество контуров может быть и большим, например, при создании АСТ – атомной станции теплоснабжения.

В реакторах семейства ВВЭР вода, прокачиваемая через активную зону, нагревается, но не вскипает, в отличие от реакторов типа РБМК. Проходя по трубам, вода первого контура в теплообменниках отдает тепло воде второго контура, после чего вновь закачивается в реактор. А вот вода второго контура превращается в пар, впоследствии вращая ротор турбогенератора, который вырабатывает электрический ток. Затем отработанный пар охлаждают, он переходит в жидкую фазу и вновь подается в теплообменник. Основная идея состоит в том, что в первом контуре циркулирует радиоактивная вода, а на турбину подается нерадиоактивный пар, правда, с химическими добавками, что делает систему практически безопасной. Новейшими реакторами ВВЭР-1200, у которых повышенная мощность получается благодаря увеличению температуры воды первого контура и давления подаваемого на турбину пара, оснащены энергоблоки Нововоронежской АЭС и Ленинградской АЭС-2. Такие же реакторы применены в энергоблоках Белорусской АЭС и на АЭС «Аккую» в Турции.

На примере реактора ВВЭР-1200 нетрудно убедиться в том, какое огромное внимание при проектировании ядерных энергетических установок сегодня уделяется современным требованиям безопасности. Еще в 1955 г. на Международной женеvской конференции по мирному использованию атомной энергии рассматривались вопросы, связанные с возможным возникновением нештатных ситуаций и способами их парирования. Исследовались вопросы выхода реактора из-под контроля, расплавления отдельных деталей реактора и твэлов, возникновения экзотермических химических реакций при взаимодействии топлива и различных видов теплоносителей с конструкционными материалами.

В реакторах ВВЭР-1200 безопасность эксплуатации обеспечивается на основе использования принципа глубоко эшелонированной защиты, что означает создание ряда надежных барьеров на возможных путях распространения радиации в окружающую среду. К таким барьерам относятся топливная матрица, защитная оболочка теплоделяющих элементов, система охлаждения реактора, помещения, в которых размещено оборудование первого контура, а также биологическая защита. Комплекс систем безопасности ВВЭР-1200 (проект станции получил название «АЭС-2006») в полной мере соответствует мировым подходам к безопасности атомных станций (как и других объектов с ядерными энергетическими установками), и российский реактор не менее надежен, чем современный ему немецкий, французский или японский.

Чтобы оценить, что представляет атомная отрасль и каков ее вклад в энергетику страны сегодня, приведем такие цифры. На ноябрь 2021 года в России на 11 действующих АЭС эксплуатируются 37 энергоблоков общей установленной мощностью около 30 ГВт, из них 24 реактора с водой под давлением (данное направление считается сегодня наиболее перспективным), включая 4 ВВЭР-1200, 11 канальных кипящих реакторов типа РБМК, а также два реактора на быстрых нейтронах БН-600 и БН-800. При этом самый старый действующий энергетический реактор в составе энергоблока № 4 на Нововоронежской АЭС относится к типу ВВЭР-440 – его ввели в эксплуатацию в конце 1972 г., т.е. скоро блок отпразднует 50-летний юбилей. Также выработкой электроэнергии занимаются в настоящее время два исследовательских реактора на площадке НИИАР: БК-50 и БОР-60 (также экспериментальный реактор, но на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем).

Важно отметить, что рост спроса на электроэнергию в начале наступившего века покрывался преимущественно за счет роста выработки АЭС, с темпом 6 – 7 млрд кВт·ч в год. Кроме того, атомная энергетика России стала играть системообразующую, топливобалансирующую и природоохранную роль. Атомные энергоблоки не только замещают сжигание газа на ТЭС, но также позволяет существенно снизить вредные выбросы в атмосферу, повысить эффективность производства действующих АЭС.

В настоящее время атомная отрасль нашей страны – одна из крупнейших и наиболее развитых в технологическом плане. Для управления научными, инженерными, производственными, оружейными, энергетическими и транспортными активами, относящимися к атомной отрасли России, была создана Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» – преемник знаменитого Средмаша. Госкорпорация является одним из лидеров мировой атомной промышленности, занимает второе место в мире по запасам урана и пятое по объёму добычи, четвёртое место в мире по производству атомной энергии.

В 2016 году в российской атомной отрасли работало свыше 250 тыс. человек, на примерно 350 предприятиях (включая АЭС, машиностроительные, производственные и научные предприятия; сюда входит и ОАО «СНИИП»). России достался от Советского Союза в наследство полный спектр технологий и производственных мощностей, необходимых для работ ядерного топлива. Это добыча, переработка руд, изотопное обогащение урана, разработка и изготовление конструкций тепловыделяющих элементов, производство легирующих изотопов. За исключением добычи руд производственные мощности превышают собственные потребности Российской Федерации, потому наша страна активно экспортирует услуги по обогащению урана и изготовлению ядерного топлива. По данным на 2021 год, Росатому принадлежит 40 % мирового рынка услуг по обогащению урана и почти 17 % рынка по поставке ядерного топлива для АЭС.

Гражданские активы российской атомной отрасли были некоторое время сконцентрированы в рамках принадлежащего «Росатому» холдинга «Атомэнергопром», в который входят предприятия ядерного оружейного комплекса, научно-исследовательские организации, а также атомный ледокольный флот. Кроме того, в «Атомэнергопром» входят: «Атомредметзолото», специализирующееся на добыче урана и распоряжающееся горнорудными активами отрасли, «ТВЭЛ», объединяющее активы по выработке ядерного топлива, «Атомэнергомаш», представляющий машиностроительный дивизион, и др.

В марте 2016 года «Росатом» сообщил о создании акционерного общества «Русатом – Автоматизированные системы управления» (или АО «РАСУ»), с помощью которого Госкорпорация рассчитывает увеличить портфель заказов на зарубежном рынке автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП).

Перед новой компанией поставлены следующие задачи: централизация процессов создания АСУТП, предоставление полного спектра услуг на всех этапах жизненного цикла таких систем, а также реализация единой научно-технической политики в отношении АСУ, разрабатываемых и производимых организациями «Росатома». С 2019 года АО «СНИИП» вошло в контур управления АО «РАСУ», ставшего в настоящее время отраслевым интегратором профильных бизнесов Госкорпорации «Росатом».

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА,

ИЛИ БЕЗ ЧЕГО ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ НЕВОЗМОЖНА

д.т.н., проф. Чебышов С.Б., авт. Суховерко В.Б.

Система управления и защиты (СУЗ) реактора ведет непрерывный контроль хода цепной реакции в реакторе и управляет указанным процессом, поэтому она является одной из важнейших. СУЗ предназначена для управления реактором в режимах:

- пуска реактора из подкритического состояния;
- вывода реактора на заданный уровень мощности;
- работы реактора в энергетическом (рабочем) диапазоне;
- регламентной или аварийной остановки реактора;
- поддержания подкритического состояния реактора.

В настоящее время в состав СУЗ входят следующие элементы:

- система аварийной и предупредительной защиты, ускоренной предупредительной защиты, устройство разгрузки и ограничения мощности;
- аппаратура контроля нейтронного потока;
- автоматический регулятор мощности;
- система группового и индивидуального управления органами регулирования, контроля положения органов регулирования, силового управления приводами СУЗ.

Из сказанного видно, что при разработке СУЗ требовалось учесть все возможные и невозможные ситуации, предусмотреть многократное дублирование функций. Для нашего института работы в данном направлении начались в 1959 г. Тогда по заданию ЛИПАН СССР (ныне РНЦ «Курчатовский институт») в отд. 104, которым руководил Б.В. Немировский, приступили к разработке приборов контроля нейтронного потока УРС-1 и УЗС-1 для исследовательского реактора ИРТ-1000 в ИАЭ (нач. лаборатории В.С. Жернов, гл. конструктор К.И. Любецкий). Прибор УРС-1 формировал сигнал для регулирования скорости разгона реактора (периода) с выходом управляющего сигнала непосредственно на сервопривод перемещения регулирующих стержней. Вторым прибором в этой серии стал усилитель защиты по скорости нарастания нейтронного потока УЗС-1, который формировал сигнал защиты по скорости нарастания нейтронного потока реактора при периодах реактора 15 с и 30 с. Входным сигналом приборов УРС-1 и УЗС-1 являлся ток ионизационных камер с его экспоненциальной зависимостью от величины нейтронного потока.

В 1976 г. в отделе 107 по заданию ИАЭ им. Курчатова и ВНИЭМ для 1-го блока Кольской АЭС были разработаны отдельные каналы контроля нейтронного потока для реактора ВВЭР-440: токовый линейный канал измерения физической мощности, импульсный логарифмический канал и токовый логарифмический канал. В комплекте с каналами обработки информации были разработаны и поставлялись блоки детектирования для регистрации нейтронного потока во всем диапазоне работы реакторной установки. В работах принимали участие специалисты отд. 107: нач. отдела В.И. Поликарпов, нач. лаборатории В.Д. Елизаров, главный конструктор Б.Н. Никифоров, а так же сотрудники ВНИИЭМ.

В 1972 г. последовало решение Правительства СССР, в котором была поставлена задача разработки комплекса аппаратуры контроля нейтронного потока СУЗ для реактора ВВЭР-440 (тип В-213) по современным на тот период времени международным требованиям для первой поставки в капиталистическую страну – предстояло обеспечить

безопасность АЭС «Ловииса» в Финляндии. Аппаратура должна была отвечать современным требованиям МЭК и американским стандартам по качеству, надежности и техническим характеристикам. В 1972-1975 гг. в отделе 110 был разработан и поставлен на АЭС «Ловииса» комплекс аппаратуры АКНП «Суган», выполненный таким образом, что все критерии безопасности МЭК удалось обеспечить. Наша аппаратура продемонстрировала высокую чувствительность измерительных каналов с достаточной помехозащищенностью и необходимой надежностью. Системный подход к разработке позволил создать концепцию и структуру построения комплекса АКНП, определить основные функции и параметры аппаратуры.

Комплекс АКНП «Суган» стал базовым при создании аналогичной аппаратуры для серийных реакторов ВВЭР-440 и первых реакторов ВВЭР-1000. Он содержал ряд функционально автономных в эксплуатации подсистем: контроля загрузки (перегрузки) топлива, контроля нейтронного потока для СУЗ реактора и контроля нейтронного потока с резервного щита управления.

Предусматривались две независимые подсистемы, обрабатывавшие сигналы от блоков детектирования - ионизационных камер, попарно размещенных и соседних измерительных каналах. Сбор информации происходил в трех точках поперечного сечения реактора и обеспечивал достаточную представительность данных о нейтронном потоке для последующего формирования сигналов защиты по логике «два из трех». Заложена структурная избыточность в виде двух подсистем позволяла при необходимости, сохраняя функции защиты, проводить профилактические работы с оборудованием в течение всего периода эксплуатации реактора, а размещение основной части аппаратуры в разных помещениях дало возможность обеспечивать контроль реактора в случае аварийной ситуации (например, возникновении пожара) в одном из помещений. При неисправности любого канала или отключении его для проверки или ремонта на выходе этого канала появлялся сигнал, аналогичный сигналу превышения уставки. Исполнительные органы СУЗ срабатывали в случае появления сигналов превышения уставки по двум работающим в «тройке» каналам.

Оператору информация представлялась на цифровых индикаторах (выборочно по каждому каналу), на ленте самопишущего потенциометра (поканальные или усредненные по трем каналам значения мощности или периода) и на оперативном дисплее (экране ЭЛТ) в виде гистограмм измерительной информации по всем каналам и цифровой индикации выборочно, но каждому из каналов. Централизованное представление информации о мощности и периоде с одновременным высвечиванием пороговых уставок на экране дисплея помогало оператору понять общую картину по всему комплексу, определить неработающие каналы, запас до срабатывания уставки по каждому каналу и тенденции изменения режима работы реактора. В целях резервирования в устройствах накопления и обработки имелись местные устройства индикации состояния измерительных каналов и необходимые измерительные приборы.

Для обеспечения высокой надежности комплекса предусматривались органы контроля исправности информационно-измерительных каналов и устройств питания. Эти функции в структуре АКНП реализовывались рядом автоматических устройств и отдельными блоками с ручным управлением. В блоках контроля могли проводиться калибровка измерительных трактов как по мощности, так и по периоду, а также проверка основных параметров и прохождения сигналов аварийной защиты. Сигналы отказа или отклонения от нормального функционирования поступают в систему защиты и оператору на блочный щит управления.

В случае нарушения доступа в помещение контроль нейтронного потока осуществлялся аппаратурой резервного щита управления (РЩУ) в объеме, обеспечивающем контроль остановленного реактора. Измерительные каналы РЩУ по структуре были унифицированы с основной подсистемой для СУЗ реактора (имелись три измерительных канала, а блоки детектирования размещались в каналах шахтного объема реактора).

При оптимизации построения комплекса АКНП исходили из следующих принципов:

- выработка сигналов защиты должна происходить при любых неисправностях, вплоть до выхода из строя измерительной аппаратуры;
- сигналы защиты независимы от всех других информационных и управляющих сигналов;
- защитные функции имеют приоритет по отношению ко всем остальным;
- схемные и конструктивные решения должны препятствовать распространению повреждений в аппаратуре;
- должно использоваться максимальное число возможных мер для получения достоверной информации о нейтронном потоке реактора при наличии помех, радиационных, температурных и механических воздействий;
- необходимо обеспечение высоких показателей надежности и ресурса работы аппаратуры;
- система контроля исправности основных устройств комплекса должна быть разветвленной и включать источники питания с автоматическим режимом работы и отдельными блоками с ручным управлением;
- необходимо обеспечить удобство эксплуатации и ремонта с возможностью быстрого обнаружения неисправности и устранения ее путем замены вышедших из строя узлов и блоков.

Опыт эксплуатации АКНП на АЭС «Ловииса-1», а с 1980 г. на АЭС «Ловииса-2» подтвердил высокую надежность аппаратуры. В среднем за одну кампанию возникало не более одной – двух неисправностей, которые не нарушали функционирования системы. Это соответствовало времени наработки на отказ аппаратуры приблизительно 4000-5000 ч и подтверждало расчетные значения.

Принятая структура АКНП и набор технических средств обеспечили гибкость системы и позволили использовать ее в различных проектах АЭС в будущих разработках, в частности, для исследовательских реакторов. Были разработаны следующие модификации АКНП, отличавшиеся составом входящих устройств, для удовлетворения конкретных требований того или другого объекта:

АКНП-1 - базовый комплекс для реакторов ВВЭР-440, эксплуатируемый на АЭС «Ловииса» в Финляндии;

АКНП-2 - комплекс с аппаратурой резервного пульта, разработанной с помощью унифицированных технических средств АКНП-1; такие комплексы установлены на Ровенской, Кольской, Пакш (ВНР) и других АЭС с ВВЭР-440.

В работе по созданию АКНП-1 и АКНП-2 принимали участие В.С. Жернов, К.И. Любецкий, Г.Ф. Боровик, И.Е. Буренко, М.С. Каленский, А.Г. Якушев, А.М. Гусаров и др.

Дальнейшее развитие концепции построения аппаратуры контроля нейтронного потока с расширением функций СУЗ было осуществлено при разработке комплекса АКНП-

З для новых АЭС с реакторами ВВЭР-1000 в 1976 г. Комплекс учитывал специфику работы ВВЭР-1000. Для регистрации ксеноновых колебаний в энергетическом диапазоне в комплексе использовались сдвоенные блоки детектирования, были введены дополнительные блоки обработки, изменена организация питания и т.д. Этот комплекс в настоящее время эксплуатируется на пятом блоке Ново-Воронежской АЭС, поставлен на Южноукраинскую, Калининскую и другие АЭС с ВВЭР-1000.

Задача оснащения исследовательского реактора в Ливии была новой и необычной. На основе накопленного опыта аппаратура контроля нейтронного потока была успешно реализована в 1980 г. коллективом сотрудников отдела во главе с гл. конструктором М.С. Каленским. Для реактора этот коллектив разработал подсистему АКНП-5,6, состоявшую из комплекса АКНП-5, использовавшегося в СУЗ исследовательского реактора, и комплекса АКНП-6, использовавшегося в СУЗ критической сборки. С применением унифицированных технических средств в АКНП-5 был дополнительно разработан цифровой автоматический регулятор, обеспечивающий автоматический пуск реактора с периодом 30 или 60 с и автоматическое поддержание заданного нейтронного потока в диапазоне от 1 до 100% номинального значения.

При этом на дисплее АКНП-5 совмещались информация о текущем значении нейтронного потока и информация о положении регулирующих стержней. В АКНП-6 были дополнительно введены цифровой линейно-логарифмический измеритель для измерения нейтронного потока в диапазоне шести порядков и автоматическое масштабирование шкалы самопишущего потенциометра.

Автоматическое изменение программы работы комплекса для обеспечения непрерывности измерений во всех диапазонах работы реактора, автоматизация процесса перемещения блоков детектирования, централизованный вывод информации по всем измерительным каналам, наличие разветвленного контроля позволили предельно упростить работу оператора с аппаратурой и сократить численность обслуживающего персонала.

В 1987 г. коллективом отдела 110 во главе с главным конструктором И.В. Соколовым была проведена разработка комплекса АКНП для исследовательского реактора во Вьетнаме (г. Далат).

Быстрое развитие электронной техники позволило провести смену элементной базы при разработках новой аппаратуры при сохранении основной логики построения систем, включая СУЗ. В 1987 г. для вновь вводимых серийных АЭС были разработаны новые цифровые комплексы аппаратуры контроля нейтронного потока АКНП-7 и АКНП-7-02, которые отличались расширением функциональных возможностей и обеспечили удовлетворение постоянно возрастающих технических требований в отношении безопасности эксплуатации реакторных установок.

В конце 1980-х годов усовершенствование аппаратуры проводилось по следующим основным направлениям:

- повышение чувствительности и точности информационно-измерительных каналов;
- повышение радиационной стойкости и ресурса блоков детектирования;
- сокращение числа информационных каналов в биологической защите реактора, исключение сложных механизмов перемещения блоков детектирования;
- снижение трудоемкости изготовления и настройки, улучшение метрологических параметров аппаратуры.

При модернизации блоков детектирования были учтены недостатки гелиевых ионизационных камер промежуточного диапазона, проявившиеся в увеличении темнового тока в процессе длительной эксплуатации, ограниченном ресурсе электронных элементов в блоках детектирования диапазона источника и т. д. При усовершенствовании блоков усиления и преобразования основное внимание уделялось повышению чувствительности, точности и линейности преобразования, стабильности параметров в широком диапазоне температур, получению достоверной информации при большом уровне помех и существенном снижении сопротивления изоляции кабеля.

Для блоков обработки информации проводился поиск решений, направленных на повышение точности измерений, надежности и ресурса работы, снижение энергопотребления, упрощение изготовления, настройки и эксплуатации на устойчивость работы при климатических и механических воздействиях в широких пределах. В устройствах отображения информации отрабатывались решения по увеличению наглядности, точности представления информации с применением освоенных промышленностью видеоконтрольных устройств.

При эксплуатации комплекса АКНП было обнаружено увеличение темнового тока гелиевой камеры КНК-4 (промежуточный диапазон) при большом флюенсе нейтронов, что потребовало дополнительных мер для обеспечения необходимого перекрытия поддиапазонов при измерении в диапазоне источника (ДИ) и в диапазоне промежуточном (ДП).

Были исследованы возможности сокращения ионизационных камер (до двух) при контроле динамического диапазона нейтронного потока в пределах $(0,01-10^{11})$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Для ДИ с помощью типовой камеры деления, включенной в импульсный режим, верхняя граница диапазона измерения была расширена до 10^6 нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Устойчивая регистрация нейтронного потока в диапазоне от 10^4 до 10^{11} нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ для ДП и ДЭ (энергетического диапазона) была достигнута с помощью одной компенсированной борной камеры в токовом режиме благодаря снижению влияния утечек кабелей связи, фоновых токов, повышению линейности, чувствительности и стабильности преобразования в блоках нормирующих преобразователей.

Ресурс блоков детектирования ДИ и ДП в комплексах АКНП определялся радиационной стойкостью кабеля связи типа КАГЭ (антивибрационный кабель, герметичный, экранированный). Увеличение ресурса до требуемых значений в АКНП первого поколения достигалось выводом соответствующих блоков с помощью механизмов перемещения из зоны больших потоков. Механизмы были сложными и дорогостоящими. Впоследствии необходимость использования таких механизмов отпала, а ресурс значительно увеличен благодаря внедрения кабеля с неорганической изоляцией для передачи токовых и импульсных сигналов от ионизационных камер.

Если для передачи токовых сигналов такой кабель обладал требуемыми параметрами, то для передачи импульсных сигналов его электрические свойства оказались далекими от оптимальных. Поэтому при проектировании импульсных усилителей пришлось решить ряд трудных и порой противоречивых задач. Основными из них были обеспечение оптимального входного импеданса и частотной характеристики, достижение наилучшего соотношения сигнал-шум, получение стабильности и линейности параметров в широком частотном диапазоне. Только специальные схемотехнические решения позволили получить достоверную информацию при наличии внешних электромагнитных и сетевых помех. Особого внимания потребовали вопросы отработки

конструкции, экранировки и заземления, подсоединения входных кабелей и уровней циркулирующих сигналов.

Для промежуточного и энергетического диапазонов контроля был сохранен принцип измерения тока камер путем преобразования тока в частоту. Разделением функций дозирования и интегрирования при использовании метода периодического интегрирования входного тока удалось повысить точность, линейность и стабильность преобразования. Большое внимание уделялось влиянию на погрешность преобразования уменьшения сопротивления изоляции кабеля, связывающего ионизационную камеру с блоком преобразования. Разработанные схемы обеспечивали сохранение параметров в пределах 5% при уменьшении сопротивления изоляции кабеля от 10^{11} до 10^6 Ом. Коэффициенты преобразования в зависимости от диапазона измеряемого тока составляли (10^8 - 10^{10}) Гц/А. Погрешность преобразования (нелинейность) не превышала $\pm 1\%$; а дополнительная погрешность при изменении температуры окружающей среды составляла не более 0,5% на 10°C .

Применение цифровых способов обработки информации в блоках функциональной обработки информационно-измерительных каналов позволило получить повышенные параметры по чувствительности, точности, стабильности и ресурсу во всех диапазонах изменения мощности и периода реактора. Построение функциональных узлов с использованием микромощной серии КМОП микросхем средней и большой интеграции с повышенной помехоустойчивостью значительно облегчило тепловой режим устройств, дало возможность полностью обойтись без дополнительных регулировок в процессе настройки и эксплуатации, значительно повысить ремонтпригодность и взаимозаменяемость отдельных узлов и блоков.

В конце 80-х годов по заданию Опытного конструкторского бюро «Гидропресс» был разработан и поставлен на Ровенскую АЭС комплекс аппаратуры контроля технологических параметров для АЭС с ВВЭР-440 (главный конструктор А.Г. Якушев). В состав комплекса вошли:

- аппаратура защиты по технологическим параметрам (АЗТП);
- аппаратура логической обработки сигналов (АЛОС);
- аппаратура отображения и протоколирования информации (АОП).

Для АЭС с реактором ВВЭР-1000 (главный конструктор Ю.М. Мирошник) был разработан и поставлен на Южно-Украинскую АЭС более совершенный комплекс, включавший АЗТП, АЛОС, аппаратуру формирования аварийных команд (АФАК), аппаратуру сигнализации первопричины (АСП), аппаратуру отображения и протоколирования (АОП), а также аппаратуру размножения сигналов (АРС) с расширенными функциями и разветвленной системой внутренней диагностики, контроля функционирования и калибровки при снижении общего объема площади, занимаемой аппаратурой.

Задачи оснащения современными аппаратурными комплексами АКНП и АЗТП атомной станции «Моховце» в Словакии были решены в 1997-1999 гг. Проведение модернизации технических средств, изготовление и поставка дополнительной аппаратуры, проведение пусконаладочных работ и ввод в эксплуатацию комплексов были успешно осуществлены группой специалистов ЗАО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ» под руководством А.Г. Якушева, которая обеспечила своевременный пуск и освоение мощности блоками 1-й и 2-й АЭС «Моховце».

В 1999 г. была выполнена основная часть работ (главный конструктор М.С. Каленский) по созданию современного интегрированного комплекса АСУЗ РУ для исследовательских реакторов и критических сборок, включающего в свой состав АКНП, АЗТП, АЛОС, АРМ (аппаратура автоматического регулирования мощности), АКПС (аппаратура контроля положения стержней) и АОП. Опытный образец АСУЗ РУ на программируемых средствах был разработан по заданию ПИЯФ (Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН).

Еще в период введения в эксплуатацию комплексов АКНП на АЭС «Ловииса» выявились значительный объем и достаточная сложность выполнения пуско-наладочных работ, авторского надзора и сопровождения введения комплексов в эксплуатацию. На первом этапе эти работы выполнялись исключительно разработчиками оборудования. В дальнейшем в связи с тиражированием АЭС было создано специальное бюро внедрения новой техники, которое работало совместно с разработчиками. В работах по внедрению новой техники и сервисного обслуживания аппаратуры, проведению пусконаладочных работ и введению в эксплуатацию комплексов технических средств на АЭС принимали участие С.В. Рыкунов, В.В. Саломаткин, А.А. Сорокин и др.

Таким образом, к концу XX века СНИИП смог решить широкий круг задач по тематике создания СУЗ. Проведенные в 1994 г. в институте структурные изменения привели к созданию ЗАО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ» на базе отделения института. Членами правления стали: В.С. Жернов - президент, А.В. Пронякин - вице-президент, директора по специальностям: Л.Ю. Грецкий, В.Ф. Животягина, И.В. Купчик, И.В. Соколов, А.Г. Якушев. Дальнейшие работы по разработке, а также конструированию, монтажу и сборке, комплексными испытаниями, поставке и сервисным обслуживанием оборудования и систем непосредственно на АЭС проводились коллективом «СНИИП-СИСТЕМАТОМ».

СИСТЕМЫ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ

Суховерко В.Б.

В этом году мне исполняется 80 лет и 60 лет трудовой деятельности, из которых 48 лет я работал в СНИИПе и другие 12 – в ЗАО «СНИИП СИСТЕМАТОМ».

За эти годы я был очевидцем и участником многих событий в стенах института и вне его, находясь в служебных командировках, его рассвета и заката, а также принимал посильное участие в возрождении предприятия после тяжелого межвременья. Очень хочется надеяться, что худшие времена остались позади.

Однако лучшими я считаю 60-е – начало 70-х годов прошлого века. Много толковых энтузиастов работали не на страх, а на совесть, создавались новые приборы, которые были интереснее и сложнее, чем те, что уже имелись и выпускались заводами. Перед нами ставили весьма непростые задачи и обычно сотрудники СНИИП с ними с честью справлялись. Сформулировать основную идею времени, с рассказа о котором я хотел начать, можно, как мне кажется, так: физики стремились освоить электронику, электронщики – физику.

В конце 1962 г. меня приняли на работу техником в отдел 102 (начальником тогда был М.Н. Пчельников) в группу, которой руководил В.С. Филонов. Рекомендовал меня А.Ф. Белов, с которым мы вместе занимались баскетболом. Анатолий Филиппович

добился немалых успехов, стал мастером спорта. Мы вместе играли в команде «Динамо», а после 40 лет я занялся судейством, добился статуса судьи Всесоюзной категории, затем почетного судьи Международной категории по баскетболу. Хочу добавить, что многие сотрудники СНИИП, достигшие высоких профессиональных успехов, также активно занимались спортом. Насколько известно, имели спортивные разряды в различных видах спорта В.В. Матвеев, И.С. Крашенинников, В.С. Жернов и многие другие.

С первых дней работы в СНИИПе рядом со мной трудились будущие известные специалисты и руководители, как К.Н. Стась, Н.В. Рябов, В.И. Поликарпов и др. У всех перечисленных уже тогда было чему поучиться, прежде всего ответственному отношению к порученному делу. Прошло меньше месяца с начала трудовой деятельности, как институт командировал меня на объект Томск-7 – что это такое я, конечно, не знал. Единственное, что мне сказали, что город молодой, ему едва исполнилось 8 лет. Завеса жуткой секретности опутывала всё и вся, особенно в те годы; достаточно сказать, что после этой, моей самой первой в жизни командировки, мне 10 лет не разрешали выезд за границу.

Сегодня такого города, как Томск-7 уже нет – так он именовался до середины 1990-х. Уже в постперестроечное время город, раскинувшийся на правом берегу красивой излучины Томи, получил название Северск, точнее, ЗАТО Северск (аббревиатура расшифровывается как «Закрытое административно-территориальное образование»). Город по-прежнему является закрытой охраняемой зоной, вотчиной Росатома. СХК (Сибирский химический комбинат) – так называется атомное градообразующее предприятие – решает важные задачи оборонного комплекса, хотя боеголовок для ракет уже не производит, а занимается обогащением урана для ядерной энергетики и утилизацией ядерного топлива из России и доставленного из-за границы.

Закрытый статус города, разумеется, не мог не сказаться не только на его внешнем облике, но и на менталитете жителей города. Основная часть населения сформировалась в 50-е годы вместе со строительством города и состояла из молодых специалистов, приезжавших сюда по распределению из разных уголков Советского Союза. Работать здесь было приятно и почетно: идеологически выдержанная молодежь росла и мужала в обстановке «трудового подвига по созданию атомного щита Родины», отлично понимая важность своей работы.

За время своей командировки я понял, что в бытовом плане жизнь в Томске-7 разительно отличалась от жизни за пределами созданной закрытой зоны – в лучшую, естественно, сторону. Зарплаты были очень высокими, а благосостояние жителя в разы превышало те, что государство смогло предоставить, скажем, в соседнем Томске. Снабжение продуктами питания и предметами быта было несравнимым с таковым в обычных городах и даже мы, москвичи, могли позавидовать в чем-то коллегам-атомщикам. Копченая колбаса, югославские сапоги и румынская стенка для жителей закрытого города были доступной повседневной реальностью, а не предметом вождения.

Но это я отвлекся. Главное – работа СХК, который благополучно пережил невзгоды перестройки, а тогда работал на полную мощность. За несколько лет до нашего появления на комбинате был запущен завод разделения изотопов, позволявший получать обогащенный уран для атомной энергетики, а также осуществлявший вести разделение изотопов урана с низкой степенью обогащения по урану-235 с помощью газодиффузионных методов. Поскольку наши специалисты СНИИП разработали и внедрили более совершенную аппаратуру контроля процессов, то нам предстояло

демонтировать старую, контролирующую герметичность оболочек тепловыделяющих элементов (КГО ТВЭЛ), чтобы затем внедрить новую. Я тогда гордился, что на реакторе я оказался самым молодым сотрудником не только из института, но и из всего нашего министерства.

Из 102-го отдела, где начался мой трудовой путь, скоро выделился отд. 107, который возглавил к.т.н. В.И. Поликарпов, а затем к.т.н. И.В. Батенин. Под их началом собралось немало толковых и одаренных специалистов, хорошо знающих разные аспекты нашей отрасли, основные процессы, проходящие при ядерных реакциях, владеющих современными технологиями проектирования аппаратуры. Надо вспомнить В.С. Филонова, Г.Л. Левина, Е.А. Таманов, Е.А. Жеребин и др. Я попал в группу Л.Г. Андреева, где в содружестве с конструкторами мы создавали новую аппаратуру. Хорошо запомнил этап разработки для Билибинской АЭС.

Если быть точным, то это была не обычная АЭС, а атомная теплоэлектроцентраль, расположена в Заполярье, рядом с городом Билибино Чукотского автономного округа. От Анадыря, административного центра региона, до АЭС было расстояние немногим больше 600 км. Станция в настоящее время состоит из четырёх одинаковых энергоблоков общей электрической мощностью 48 МВт с реакторами ЭГП-6 (водно-графитовый гетерогенный реактор канального типа) и вырабатывает как электрическую, так и тепловую энергию для теплоснабжения города Билибино.

Проектирование Билибинской АЭС началось в 1965 году, по постановлению Совета Министров СССР, а научное руководство работами осуществлялось Физико-энергетический институт (ФЭИ) им. А.И. Лейпунского (в г. Обнинск). Практическая работа началась летом следующего года. Как вспоминал один из ведущих специалистов обнинского института В.В. Долгов, именно ФЭИ определяло характеристики основного оборудования, выбирали физические параметры реактора, режимы циркуляции теплоносителя, принципов конструкции реакторной установки и тепловыделяющих сборок. Естественно, мне и другим сотрудникам СНИИП, занятым в работах в Билибино, пришлось немало времени провести в Обнинске.

Налаженные связи очень пригодились при создании на территории ФЭИ экспериментального реактора БР-5 (эти работы начались еще в 1959 г.) и затем БН-350 – первого в мире опытно-промышленного энергетического реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Эксплуатация энергоблока БН-350 подтвердила надёжность и безопасность подобных реакторов большой мощности. Длительная работа реактора позволила собрать обширную информацию по работоспособности активной зоны, оборудования и систем безопасности, что стало возможным благодаря, в частности, разработанной в СНИИП аппаратуры и обеспечило надёжную базу для разработки последующих проектов быстрых натриевых реакторов.

Более 10 лет мы с В.П. Кравченко, В.С. Филоновым проводили в Обнинске (в длительных или краткосрочных командировках) исследовательские работы, результаты которых впоследствии использовались для аппаратуры контроля герметичности оболочек реакторов БН-600 и БН-800, а также опреснителей морской воды на Мангышлаке. Подобно первой в мире атомной электростанция и первого в мире атомного ледокола, созданных в нашей стране, эта установка также была первой в мире. Такая установка, развивающая тепловую мощность свыше миллиона киловатт, введенная в строй в СССР на восточном берегу Каспийского моря в городе, названном по фамилии знаменитого украинского поэта Тараса Шевченко, где тот отбывал царскую каторгу. Как и в других

случаях, в ходе работ, развернувшихся с середины 1960-х годов, пришлось решить немало сложных технических задач.

Если вернуться к Билибинской АЭС, с которой были связаны многие годы жизни, то в процессе работ меня назначили главным конструктором системы внутриреакторного контроля (СВРК). Большая часть территории округа, включая станцию, расположены за Северным полярным кругом. Поэтому климат здесь суровый, субарктический, а продолжительность зимы была до 10 месяцев. В ходе одной из поездок я впервые столкнулся с экстремальным холодом – температура на улице доходила до -65°C . Территория Чукотки богата водными ресурсами: здесь протекали и протекают свыше 8000 рек длиной более 10 км, а их питание преимущественно за счет снега и дождя. Хорошо запомнились высокие и бурные паводки, неравномерность стока, причем русла многих рек промерзали до дна при повсеместном образовании наледей.

Чукотка удивила нас не только невероятными для нас морозами, но также повсеместной продажей в магазинах уцененного вина и вечной мерзлотой, на которой стояли непонятно как построенные двух- и трехэтажные дома, соединенные вдоль стен швеллерами для прочности. Проверку на прочность прошли не только дома, но и наша аппаратура – ее при испытании утопили в Ледовитом океане. Пришлось восстанавливать, что не без сложностей все же удалось сделать; по имеющимся данным, приборы по теме «Прохлада-4» работают и поныне.

Однако было бы неверно ассоциировать Чукотку лишь с жутким холодом, с вечной зимой снегом и льдами, на фоне которой видны фигурки чукчей, их яранги, олени на фоне студёного серого моря. Но мы наблюдали, как за короткую бурную весну и северное лето, этот суровый полуостров расцветал: тундра становилась зеленой с цветущими на камнях лишайниками и необычными диковинными цветами, каких больше нигде не встретишь. И еще. Чукотка – край белый медведей, охота на которых давно запрещена. Конечно, на территории АЭС они не ходят. Но по дороге Билибино – Певек, в сторону дикого побережья Восточно-Сибирского моря, их легко встретить, как и нерп вместе с песцами и нерпами, а также северными оленями.

Посещение дальних трасс случалось нечасто, а общежитие, в котором мы жили, находилось рядом со строящейся тогда АЭС. Я, вместе с Е.А. Огурцовым, А.И. Путилиным, К.Н. Шикиным, сотрудником ВНИИТа М.Г. Мительмана считали себя первопроходцами. Думаю, что по праву. Рядом, нашими соседями по занимаемому домику, являлась бригада строителей из Магадан-строя с суровыми работягами, у которых средний срок судимости равнялся 10 лет на человека. Но о каких-либо разборках или иных нештатных ситуациях я не помню.

Успешно прошел и пуск 1-го энергоблока, всех сотрудников СНИИП наградили почетными грамотами и денежными премиями. Интересно, что наша аппаратура («Прохлада-4») стала прообразом следующей модификации, призванной заменить не заработавшую аппаратуру НИКИЭТ. Более того, «Прохладу-5» устанавливали на 15 энергоблоков реакторов РБМК-1000 (реактор большой мощности, канальный, о создании которых будет рассказано впоследствии) ее специальная комиссия признала лучшей, а разработчиков удостоили медали «За заслуги в повышении безопасности атомных станций».

При всей важности и сложности указанных выше работ, они имели ограниченное практическое применение, поскольку реакторы типа БН и БР выпускались малыми сериями. А с 1960-х годов в СССР начата разработка массовых чисто энергетических реакторов типа будущего РБМК. Ведь именно по такому принципу (уран-графитовый

канальный с водяным теплоносителем, причем вода находилась в состоянии кипения, на тепловых нейтронах) работал реактор первой в мире АЭС (АМ-1, или «Атом Мирный»), который в 1954 г. запустили на Обнинской АЭС.

Некоторые конструкторские решения отрабатывались на опытных энергетических реакторах «Атом Мирный Большой»: АМБ-1 (1964 год) и АМБ-2 (1967 год), установленных на Белоярской АЭС. Разработка собственно реакторов РБМК началась с середины 60-х годов и опиралась, в значительной мере, на большой и успешный опыт проектирования и строительства промышленных уран-графитовых реакторов. Основные преимущества реакторной установки виделись создателями в максимальном использовании опыта уран-графитовых реакторов, уже налаженном выпуске основного оборудования, включая аппаратуру СНИИП, значительном выросшем состоянии промышленности и строительной индустрии СССР.

В целом конструктивные особенности этого реактора повторяли опыт предыдущих уран-графитовых реакторов. Новыми стали топливный канал, параметры теплоносителя, сборки тепловыделяющих элементов, изготавливающиеся из новых конструкционных материалов — сплавов циркония, а также форма топлива — металлический уран заменили на его диоксид. По первоначальному техническому заданию реактор должен был быть двухцелевым, то есть при изменении теплотехнических параметров мог нарабатывать оружейный плутоний, но при проработке проекта от этой идеи решили отказаться, и в дальнейшем реактор проектировался как одноцелевой — только для производства электрической и тепловой энергии.

Как и во многих других работах, основные принципы КГО заключались в контроле за негерметичностью ТВЭЛов с позиций безопасности, не допущения газовых течей, обнаружение в активной зоне элементов со значительными нарушениями оболочек, недопущение аварийных развитий событий. Контроль велся на работающем или остановленном аппарате, а также за выгруженными сборками. Важно было не допустить загрязнения продуктами деления технологических сред или транспортного оборудования продуктами деления в случае длительного хранения ТВЭЛов в воде. Расширение фронта работ вынудило руководство СНИИП задействовать для решения всего комплекса задач, в зависимости от типа ядерного реактора, три научно-исследовательских лаборатории, которыми руководили с конца 1960-х годов В.С. Филонова, Е.А. Жеребина и Е.А. Таманова, а кроме того специально созданное в 70-х годах конструкторское бюро Г.К. Ермакова.

С вводом в строй в 1973 г. 1-го энергоблока Ленинградской АЭС стало ясно: за первой «ласточкой» последуют целые стаи. Во всяком случае, главный конструктор реакторной установки академик Н.А. Доллежал, возглавлявший НИКИЭТ, и научный руководитель проекта директор ИАЭ им. И.В. Курчатова академик А.П. Александров не сомневались, что реакторы типа РБМК-1000 станут основой при развитии атомной энергетики Советского Союза в ближайшее время. Действительно, за десять последующих лет было сооружено еще 12 подобных энергоблоков.

Особенностью реактора РБМК является его многоканальность и отсутствие корпуса, что серьезно удешевляло проект. В таком реакторе имелось приблизительно 1600 топливных каналов. Проходящий по ним теплоноситель, объединялся в общий поток, паровая фаза отделялась в барабанах-сепараторах и в виде перегретого пара поступала на турбины. Подобная особенность приводила к повышению роли оперативного КГО и, естественно, накладывала свой отпечаток на методы контроля и аппаратурные решения системы КГО.

Как уже отмечалось, основные принципы КГО для реакторов уран-графитового канального типа с водяным теплоносителем были заложены в конце 60-х – начале 70-х годов и воплощены в системе «Ветер», разработанной в СНИИПе и переданной в серийное производство. Коллектив разработчиков возглавляли Е.А. Жеребин (главный конструктор), В.В. Барышев и Г.К. Ермаков (его заместители). Как и многие другие подобные системы, «Ветер» позволяла вести поканальный и оперативный контроль путем непрерывной регистрации гамма-активности относительно короткоживущих продуктов деления в паровой фазе теплоносителя после барабана-сепаратора. Основная решаемая задача: регистрация разгерметизации и оценка количества негерметичных ТВЭЛов в группах каналов, теплоносители которых поступают на барабаны-сепараторы.

Одним из важнейших шагов на пути модернизации системы, получившей название «Ветер-М», позволившим повысить оперативность и общее улучшение внешних характеристик, стали разработка и внедрение нового датчика КГО, основанного на принципе электроосаждения. Использование этого датчика позволило отделить несущие полезную информацию продукты деления от фонового нуклида ^{16}N , многократно, почти на порядок, сократить время задержки пробы, перейти к измерению бета-активности продуктов деления, и, как результат, существенно улучшить оперативность и чувствительность подсистемы оперативного группового контроля. Одновременно были улучшены и характеристики подсистемы поканального контроля за счет совершенствования защиты датчика и использования достижений программно-вычислительной техники.

СНИИП развивался вместе со всем СРЕДМАШЕМ. Безусловно, эти были годы, насыщенные интересной, ответственной и важной работой. Такими я их запомнил. Казалось, меня и моих коллег ждут четкие и ясные перспективы... Но в 90-е годы XX века настали трудные времена.

АППАРАТУРА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

д.т.н., проф. Чебышов С.Б., Гордеев А.С.

Атомная энергетика в нашей стране развивается достаточно быстрыми темпами. Ее доля в общей структуре выработки электроэнергии в России и мире непрерывно возрастает, несмотря на то, что этот процесс не носит непрерывного поступательного характера. Наша страна занимает второе место среди стран Европы (после Франции) по мощности атомной генерации. Не менее важно отметить, что Россия обладает полным спектром технологий атомной энергетике, от добычи урановых руд до выработки электроэнергии:

- обладает значительными разведанными запасами урановых руд и промышленностью по их добыче и переработке;
- является мировым лидером в вопросах обогащения урана;
- владеет технологиями проектирования и производства ядерного топлива;
- осуществляет проектирование, строительство и вывод из эксплуатации атомных энергоблоков;
- ведёт переработку и утилизацию отработанного ядерного топлива.

Для успешной и безаварийной работы столь сложной системы, какой является атомная электростанция, необходимы не только продуманные инженерные решения, но и создание системы радиационной безопасности для персонала, проживающего населения, окружающей среды.

Первая атомная электростанция в Обнинске (мощностью 5 МВт), положившая начало использованию ядерной энергии в мирных целях, была пущена в СССР в 1954 г. А уже к 2000 г. на территории Российской Федерации работали 9 АЭС, а через 22 года их количество возросло до 11 действующих АЭС, эксплуатируется 37 энергоблоков общей установленной мощностью ~30 ГВт, из них:

- реактора с водой под давлением - 13 реакторов ВВЭР-1000 (12 блоков 1000 МВт и 1 блок 1100 МВт), 4 реактора ВВЭР-1200 (1200 МВт), 5 реакторов ВВЭР-440 (4 блока 440 МВт и 1 блок 417 МВт), 2 реактора КЛТ-40С (35 МВт);

11 канальных кипящих реакторов - 8 РБМК-1000 (1000 МВт каждый) и 3 ЭГП-6 (12 МВт каждый);

2 реактора на быстрых нейтронах — БН-600 (600 МВт) и БН-800 (885 МВт).

Самый старый действующий энергетический реактор работает на Нововоронежской АЭС. Этот агрегат - ВВЭР-440, введенный в эксплуатацию 28.12.1972 (ему уже более 50 лет).

Также выработкой электроэнергии занимаются два исследовательских реактора на площадке НИИАР: ВК-50 и БОР-60.

К созданию многоканальных систем дистанционного контроля с единым централизованным представлением всей собранной информации о радиационном состоянии объекта СНИИП приступил, начиная с 1960-х годов. При этом развитие и совершенствование систем шло по следующим направлениям:

- увеличивалась номенклатура типов блоков детектирования ионизирующих излучений, входящих в системы – к контролю гамма-излучения и газов (установка дозиметрического и технологического контроля 8004-1 «Система») добавился технологический контроль (система АКРБ-03 «Сейвал») и контроль выбросов в венттрубу и жидких сбросов (система АКРБ-06 «Горбач»);

- увеличивалось количество точек контроля (200 «Система», 300 «Сейвал», 500 «Горбач», АКРБ-08);

- увеличивалось расстояние дистанционного контроля, упрощались линии связи (от дорогого кабеля с экранированными жилами длиной 200 м («Система») перешли к телефонному кабелю с витыми парами проводов длиной до 500 м («Сейвал») и до 10000 м (с ретрансляцией через каждые 1000 м – «Горбач»);

- обеспечивался переход на микропроцессорную элементную базу (АКРБ-08);

- обеспечивался переход на элементную базу специальной приемки повышенной надежности.

Широкое строительство АЭС с реакторами ВВЭР-440, а затем ВВЭР-1000 и РБМК-1000 началось в нашей стране в первые годы 1970-х. С середины 80-х годов была принята программа строительства АЭС с ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 в странах СЭВ. Как правило, АЭС строились вблизи густонаселенных промышленных центров. В связи с этим большое значение приобрели вопросы радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды. К этому времени радиационный контроль АЭС (1-й и 2-й блоки Билибинской и Белоярской АЭС) осуществлялся с помощью приборов и установок типа

УСИТ-1, УСИД-1Д и УСИД-1. В конце 60-х годов были разработаны приборы контроля радиационной обстановки в помещениях АЭС и на прилегающей территории и многоканальная установка дозиметрического и технологического контроля 8004-1 («Система»), которыми были оснащены 1-й и 2-й блоки Кольской, Ленинградской АЭС и Курской АЭС.

Активное участие в создании установки «Система» принимали сотрудники СНИИП Е.П. Мурашов (главный конструктор), Н.Е. Глазунов (заместитель главного конструктора), К.И. Любецкий, В.С. Жернов, В.М. Скаткин, О.И. Кажарский, Н.И. Денисов, Н.В. Рыжов и многие другие, а также работники Минского приборостроительного завода.

Однако эти приборы и установки по своим техническим и эксплуатационным характеристикам не отвечали возросшим требованиям к радиационному контролю, не позволяли в полной мере реализовать задачи радиационного технологического контроля, и таким образом, не отвечали в полной мере концепции контроля защитных барьеров АЭС. Кроме того, элементная база приборов и «Системы» к концу 70-х годов, когда планировался ввод в эксплуатацию строящихся блоков АЭС, должна была морально устареть. В связи с вышесказанным для оснащения строящихся АЭС аппаратурой радиационного контроля необходимо было разработать современный комплекс аппаратуры контроля радиационной безопасности (АКРБ).

Для решения этой сложной задачи в СНИИПе в 1971 году был создан новый отдел, который возглавил В.С. Жернов. Разработка современных АКРБ для АЭС являлась одним из важнейших направлений его деятельности.

В частности, к концу 1975 г. планировалось завершить разработку, изготовить и поставить на 5 блок НВ АЭС первый опытный комплект АКРБ (Сейвал-0).

Для решения этой задачи были образованы несколько лабораторий:

- лаборатория блоков и устройств детектирования, которую возглавил Б.Л. Киселев (он же был назначен главным конструктором АКРБ для 5-го блока НВ АЭС);
- лаборатория системотехники, которую возглавил В.М. Скаткин;
- лаборатория выводных устройств, которую возглавил Е.П. Мурашов.
- лаборатория электронных блоков и устройств, которую возглавил Н.В. Рыжов.

Основные коллективы лабораторий были сформированы в период с 1971 по 1973 гг. Они, как правило, состояли из сотрудников СНИИП, имевших опыт работы в данной области и молодых специалистов, набиравшихся из ведущих технических институтов Москвы. Основу опытных сотрудников составили В.В. Пушкин, В.Л. Антонов, Н.И. Денисов, В.Я. Парышев, А.А. Бойко, И.Е. Буренко и др. Позднее, в конце 80-х годов коллектив отдела пополнился лабораторией, которую возглавлял А.Д. Соколов, с сотрудниками Ю.А. Макаровым, В.В. Рыжухинским, В.П. Царьковым, С.Н. Васильевым, Л.А. Сучковой, а также новым начальником лаборатории блоков и устройств детектирования Ю.Е. Залманзоном.

Для многих молодых специалистов отдела, составлявших большую часть коллектива разработчиков, это была первая самостоятельная работа. Большой удачей для них было то, что разработка АКРБ охватывала весь цикл работ – от технического проекта до поставки аппаратуры на АЭС. Таким образом, это была хорошая школа, где они могли применить свои знания и приобрести опыт практической работы. В ходе технического проекта проводились оптимизация структуры АКРБ, номенклатуры технических средств и объема радиационного контроля; уточнялись требуемые характеристики технических средств, выбиралась геометрия измерения и номенклатура детекторов для блоков и

устройств детектирования, разрабатывались методики метрологических поверок и калибровок. Проводились многочисленные расчеты и сложные экспериментальные и методологические работы по выбору и обоснованию оптимальных технических решений. Впоследствии это подтверждалось при испытаниях макетов технических средств и систем в лабораторных условиях и на АЭС.

Для решения задачи контроля газоаэрозольных выбросов из венттрубы и аварийных значений объемной активности газов были привлечены специалисты из других подразделений СНИИПа: В.Д. Камыщенко, Н.Д. Сотников, В.И. Лапшин и др. Метрологическую экспертизу разрабатываемой аппаратуры и разработку методик поверки измерительных каналов АКРБ проводили сотрудники отдела метрологии ионизирующих излучений: Л.Н. Крылов, В.А. Чижов, И.П. Мысев и В.Ф. Шевченко. Идеи разработчиков технических средств АКРБ воплощались в «железо» усилиями конструкторских бюро СНИИП. Большой вклад в создание аппаратуры внесли: А.М. Радыванюк, И.Е. Буренко, И.С. Потехин, Г.К. Ермаков, Ю.В. Толмачев, В.А. Каганович.

В ходе работы была создана большая номенклатура технических средств радиационного контроля, проведены их испытания, изготовлен и настроен поставочный комплект. В 1975 г. аппаратуру установили на 5-м энергоблоке НВ АЭС и ввели в опытную эксплуатацию.

Технические решения и средства, принципы обработки информации, методики метрологической поверки, разработанные в процессе этой работы, а также накопленный опыт были использованы при разработке серийной аппаратуры АКРБ-03 (главный конструктор Н.В. Рыжов) и АКРБ-06 (главный конструктор В.М. Скаткин). АКРБ-03 нашла широкое применение на всех АЭС с реакторами ВВЭР-440 и более мощных ВВЭР-1000, которые были построены в СССР и странах СЭВ после 1980 года, а АКРБ-06 на всех АЭС с реакторами РБМК-1000. За разработку и внедрение АКРБ-06 большая группа сотрудников отдела (И.Е. Буренко, Н.И. Денисов, В.С. Жернов, В.Д. Камыщенко, Е.П. Мурашов, В.В. Пушкин, Н.В. Рыжов, В.М. Скаткин) была в 1983 г. награждена премией Совета Министров СССР.

Освоение аппаратуры и ее серийный выпуск были осуществлены на приборостроительном заводе (ПСЗ) г. Трехгорный и заводе «Импульс» г. Пятигорска, заводе «Сигнал» г. Обнинск, заводе «Балтиец» г. Нарва в Эстонии и заводе «Полон» в Польше.

С 1981 г. началась разработка нового поколения аппаратуры – АКРБ-08. К этому времени значительно расширилась нормативная база, регламентирующая вопросы радиационной безопасности при использовании атомной энергии (НРБ-76, СП-АС-88, ОПБ-82 и т.п.), значительно изменилась элементная база, началось широкое использование микропроцессорной техники, что открывало большие перспективы к улучшению технических и эксплуатационных характеристик аппаратуры и диктовало совершенно другие подходы к организации сбора, обработки, хранения и представления информации.

Полученный ранее опыт позволил достаточно быстро провести разработку аппаратуры на высоком научно-техническом уровне. Большая часть технических средств была разработана к концу 1995 г. Серийному освоению аппаратуры помешала авария на 4-м блоке ЧАЭС, произошедшая в апреле 1986 г.

Анализ этой аварии, а также аварий, произошедших ранее на Ровенской и Южно-Украинской АЭС (конечно, не столь масштабных), показал, что оборудование, поставляемое на АЭС, должно удовлетворять специфическим требованиям: оно должно быть сейсмостойким, пожаробезопасным, устойчивым к различного рода помехам,

обладать высокой надежностью, в необходимых случаях резервироваться. Это оборудование должно также позволять проводить измерения радиационных параметров в более широком диапазоне, характерном для проектных и запроектных аварий.

С учетом этих требований была проведена работа по доработке технических средств АКРБ-08 и корректировке электрических схем с заменой в них общепромышленных комплектующих на комплектующие с повышенной надежностью. Типовые испытания серийной аппаратуры были проведены на ПСЗ в 1994 г.

В 1999 г. совместными усилиями специалистов ПСЗ и ЗАО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ» были проведены разработка и испытания центрального пульта АКРБ УУМ-30Е и УНО-201Р, выполненных на современной микропроцессорной технике. В том же 1999 г. ПСЗ провел государственные приемочные испытания станции сбора данных ССД-01Р.

АКРБ-08 характеризовалась высокими эксплуатационными и метрологическими показателями и показателями надежности, она удовлетворяет всем современным требованиям, предъявляемым к аппаратуре, поставляемой на АЭС. Технические средства АКРБ-08 поставлены на 1-й и 2-й блоки Ленинградской, Курской и Кольской АЭС и 3- и 4-й блоки Нововоронежской АЭС (ныне носящие имя ученого В.А. Сидоренко). К настоящему времени на этих АЭС удалось ввести в опытную эксплуатацию фрагменты АКРБ-08, включающие станции сбора данных ССД-01Р и пульт УУМ-30Е.

Некоторое время спустя для АЭС «Бушер» в Иране и вновь строящихся АЭС в России заканчивается разработка многоканальной автоматизированной системы радиационного контроля АСРК-2000. Эта система имеет распределенную структуру и построена на современной элементной базе.

Защитные барьеры на пути распространения радионуклидов при эксплуатации АЭС с легководными реакторами

При рассмотрении аспектов радиационной безопасности крупных объектов с ядерными энергетическими установками целесообразно взять за основу концепцию так называемых защитных барьеров. При неповрежденных оболочках тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ), оборудовании первого и второго контуров радиоактивные вещества локализованы в пространстве и не представляют опасности. В процессе эксплуатации ядерного энергетического легководного реактора из-за образования микротрещин, неплотностей или локальных аварий в оборудовании возможно попадание радиоактивных веществ в теплоноситель первого контура, затем второго и других технологических контуров, в помещения АЭС и, в конечном счете, во внешнюю среду.

Защитными барьерами на пути распространения радионуклидов являются оболочки ТВЭЛОВ, оборудование технологических контуров, защитная герметичная оболочка реакторного отделения, фильтры и оборудование спецводоочистки (СВО) и спецгазоочистки (СГО). К защитным барьерам следует отнести и организуемые в помещениях и на территории АЭС контрольные пункты на маршрутах движения персонала и транспорта - выделение зоны строгого режима, организация санитарных пропускников, принудительный контроль на выходе и выезде с АЭС.

В случае аварийных ситуаций, таких, как разрыв первого контура, ряд барьеров перестает выполнять защитные функции, и вероятность выхода радионуклидов во внешнюю среду возрастает. Практика эксплуатации АЭС убедительно показывает, что облучение персонала и ущерб для внешней среды можно своевременно предотвратить без остановки АЭС, если на ранней стадии обнаружить повреждение того или иного

защитного барьера и предотвратить вынос радионуклидов по технологическим коммуникациям или транспортным путям.

Эффективность обнаружения повреждения защитных барьеров зависит от видов радиационного контроля, его оперативности. Тот или иной вид измерений, а иногда сочетание нескольких видов измерений, необходимых для определения целостности конкретных защитных барьеров, определены многолетней практикой эксплуатации АЭС с легководными реакторами. Основными видами контроля следует считать контроль объемной активности аэрозолей, йодов, радиоактивных инертных газов (РИГ), острого пара и жидкости, контроль мощности дозы гамма-излучения, а также контроль плотности потока нейтронного и бета-излучений. Эти виды контроля дополняются спектрометрами для непрерывного обнаружения реперных радионуклидов в теплоносителе, что повышает оперативность и информативность контроля целостности первого защитного барьера – оболочек твэлов.

Не меньшее внимание уделяется защите населения. На АЭС России и в районе их расположения постоянный контроль за радиационным воздействием на проживающих людей и окружающую среду осуществляется отделами радиационной безопасности АЭС и контролируется центрами государственного санитарно-эпидемиологического надзора Федерального медико-биологического агентства.

На всех АЭС России функционируют автоматизированные системы контроля радиационной обстановки в районах их расположения (АСКРО), объединенные в отраслевую подсистему с центральным пультом контроля в Кризисном центре, созданном АО «Концерн Росэнергоатом».

ЕДИНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ. ВКЛАД СНИИПА В ЕЕ СОЗДАНИЕ

к.т.н. Скоткин В.М.

Понятие мониторинга окружающей среды впервые было введено в оборот канадским климатологом и метеорологом профессором Р. Манном на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде, состоявшейся в июне 1972 г., и в настоящее время получило международное распространение и признание. Мониторингом окружающей среды было предложено называть систему повторных наблюдений одного и более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой. Однако вскоре стало ясно, что такое определение сужает рамки содержания мониторинга и не позволяет во всей полноте раскрыть его цели и задачи.

В нашей стране одним из первых теорию мониторинга окружающей среды стал разрабатывать член-корреспондент АН СССР Ю.А. Израэль, впоследствии академик РАН. Назначенный с 1974 г. начальником Главного управления Гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, он сделал акцент не только на наблюдении, но и на прогнозе, введя в определение термина «мониторинг окружающей среды» антропогенный фактор как основную причину этих изменений. Впоследствии он стал председателем Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю окружающей среды (Госкомгидромет) и принял самое активное и решающее участие в его создании и разработке организационной структуры будущей службы.

В начале 70-х годов прошлого века профессор Израэль составил одну из первых классификаций систем и подсистем мониторинга. Они могут подразделяться по разным признакам:

- пространственному охвату;
- объекту наблюдения (абиотическая компонента: атмосферный воздух, воды суши и морей, почвы, геологическая среда, биотическая компонента, растительный и животный мир, живая природа на охраняемых природных территориях, человек; физические факторы воздействия: ионизирующее излучение, электромагнитное излучение, тепловое излучение, шумы, вибрация);
- методам (прямое инструментальное измерение, дистанционная съёмка, косвенная индикация, опросы, дневниковые наблюдения);
- степени отношения эффекта и процесса, за которыми ведутся наблюдения;
- типу воздействия (геофизическое, биологическое, медико-географическое, социально-экономическое, общественное);
- целям (определение современного состояния среды, исследование явлений, оценка и градуировка моделей окружающей среды, краткосрочный прогноз, долгосрочные выводы, оптимизация и повышение экономической эффективности исследований и прогнозов, контроль за воздействием на среду и т. д.).

Все классификации систем мониторинга, подчеркивалось в проведенном исследовании, являются достаточно условными.

По масштабам обобщения информации выделяют:

- глобальный (биосферный) мониторинг, предусматривающий слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере и осуществляющий прогноз возможных изменений;
- национальный мониторинг, осуществляющий в пределах государства специально созданными органами;
- региональный мониторинг, который охватывает отдельные регионы, в пределах которых имеют место процессы и явления, отличающиеся по природному характеру или по антропогенным воздействиям от общего базового фона;
- локальный мониторинг, предусматривающий осуществление наблюдений в особо опасных зонах и местах, обычно непосредственно примыкающих к источникам загрязняющих веществ.

Для нас представляют наибольший интерес вопросы, связанные с построением мониторинга окружающей среды с учетом наличия большого количества объектов, которые потенциально могут представлять опасность для населения. Идея ее создания возникла давно, однако к реализации приступили только в XXI веке, на новой информационной и технологической базе. Она получила название Единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки на территории Российской Федерации (ЕГАСКРО).

ЕГАСКРО – это система, объединяющая ведомственные службы и сети радиационного контроля и мониторинга воедино на основе автоматизации процессов сбора, передачи и анализа информации о состоянии радиационной обстановки на территории РФ, а также прогноза в этой области. Надо оговориться, что вопросы прогнозирования происходящих процессов находятся в стадии проработки, эта часть

общей системы функционирует лишь частично. Основными целями создания ЕГАСКРО (согласно действующим нормативным документам) являются:

- совершенствование государственного контроля радиационной обстановки на территории РФ для приведения его в соответствие с требованиями действующего законодательства в области обеспечения радиационной безопасности;

- оперативное обеспечение органов государственной власти РФ, субъектов РФ, федерального управления и надзора в области радиационной безопасности и населения достоверной информацией о текущем и ожидаемом состоянии радиационной обстановки, фактах, характере, масштабах и прогнозах последствий ее ухудшения;

- информационное обеспечение Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в части контроля радиационной обстановки и обеспечения радиационной безопасности населения;

- информационная поддержка и выработка рекомендаций для принятия решений органами федерального и территориального управления и надзора по обеспечению радиационной безопасности населения страны и защите окружающей среды.

При этом задачами ЕГАСКРО являются:

- контроль техногенных источников поступления радионуклидов в окружающую среду и параметров радиационной обстановки на радиационно-опасных объектах;

- измерение параметров радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды и среды обитания человека;

- идентификация источников ухудшения радиационной обстановки с установлением его характера и масштабов;

- сбор, первичная обработка и передача данных измерений параметров радиационной обстановки, необходимых для определения краткосрочной и долгосрочной динамики, оперативного выявления фактов ее ухудшения;

- оперативное представление данных объективного анализа и прогноза радиационной обстановки на территории страны и в отдельных ее регионах с использованием современных методов и средств отображения данных;

- обобщение и анализ данных о накопленных и прогнозируемых дозах и др.

Полностью развернутая система позволит вести контроль за количеством и составом радиоактивных веществ, поступающих в окружающую среду от радиационно-опасных объектов, измерять уровни радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды с определением радионуклидного состава полученного загрязнения, непрерывно контролировать параметры радиационной обстановки в стационарных пунктах наблюдения, контролировать параметры радиационной обстановки на радиационно-опасных объектах, например АЭС, с целью определения состояния нормального или аварийного в радиационном отношении функционирования объекта.

По замыслу создателей, ЕГАСКРО является информационно-измерительной системой контроля, способной обеспечить заблаговременное выявление всех гигиенически и экологически значимых ухудшений радиационной обстановки, осуществлять оценку и прогнозирование ее изменения на территории нашей страны, выработать рекомендации для соответствующих органов управления в области обеспечения радиационной безопасности.

Она функционирует в непрерывном режиме как в условиях нормальной работы радиационно-опасных предприятий и нормальной радиационной ситуации, так и в

условиях радиационных аварий. Система создается по иерархическому принципу и имеет три основных уровня и обобщения информации – объектовый, региональный и федеральный. При необходимости могут вводиться дополнительные структурные уровни (подуровни) – муниципальный и межрегиональный.

К объектовому уровню относятся измерительные средства и сети ведомственной принадлежности, осуществляющие измерения параметров радиационной обстановки на радиационно-опасных объектах, в санитарно-защитных зонах, зонах наблюдения, на загрязненных территориях и фоновые измерения объектов окружающей среды, с их информационно-аналитическими центрами. На этом уровне обрабатывается и анализируется информация, относящаяся к конкретным радиационно-опасным объектам, природным объектам и селитебным зонам, и вырабатываются рекомендации для принятия решения на уровне администраций радиационно-опасных объектов и руководителей низовых подразделений контролирующих органов.

К региональному уровню относятся средства сбора и передачи данных от локальных информационно-аналитических центров подсистемы ЕГАСКРО. На территориальном уровне обрабатывается и анализируется информация, поступающая от всех локальных центров данного субъекта, например, города, и вырабатываются прогнозы и рекомендации по принятию решений для органов управления радиационной безопасности субъекта РФ.

К федеральному уровню относятся центр ведомственных подсистем и служб и Федеральный информационно-аналитический центр ЕГАСКРО со средствами коммуникации, с помощью которых осуществляется информационный обмен с информационно-аналитическими центрами территориальных и ведомственных подсистем и служб, а также с взаимодействующими российскими и зарубежными информационными системами. ЕГАСКРО имеет территориальные и ведомственные подсистемы.

В режиме повседневной деятельности ЕГАСКРО должно обеспечить наблюдение и контроль радиационной обстановки на потенциально радиационно-опасных объектах и прилегающих к ним территориях; контроль уровней радиоактивного загрязнения объектов окружающей природной среды, сбор информации о радиационной обстановке с заданной периодичностью по установленному регламенту.

Для ЕГАСКРО предусмотрен как режим повседневной деятельности, при котором ведутся наблюдение и контроль радиационной обстановки, так и аварийный режим. В последнем случае система обеспечивает устойчивое функционирование всех используемых средств и взаимодействие подсистем, задействованных в районе аварии, а также ведется непрерывный контроль за состоянием окружающей среды в районе чрезвычайной ситуации, за радиационной обстановкой на аварийных объектах и на прилегающих к ним территориях. Наиболее сложными являются вопросы прогнозирования изменения радиационной обстановки по мере развития чрезвычайной ситуации и проведение оценок в режиме реального времени.

В этой глобальной работе специалисты нашего института приняли непосредственное участие, причем они находились у истоков столь важного дела. В конце 1985 – начале 1986 гг. специалисты Чернобыльской АЭС, как бы предчувствуя будущие негативные события, первыми в СССР пригласили сотрудников СНИИПа для обсуждения и последующего заказа новой разработки – дистанционной централизованной системы контроля радиационной обстановки на территории вокруг АЭС с передачей информации

по радиоканалу на расстояние до 40 км. Новая система получила аббревиатуру – АСКРО. До этого информация о радиационной обстановке на территориях, прилегающих к АЭС, собиралась на основе отбора проб, а также с помощью носимых и перевозимых приборов. После аварии, произошедшей 26 апреля 1986 г., впервые такую систему развернули в 1987 г. вокруг Чернобыльской АЭС на основе ранее разработанной в СНИИП системы типа «Антенна» с передачей полученных данных по радиоканалу.

Следует отметить, что чернобыльская авария выявила серьезные недостатки в системе организации радиационного контроля как на отдельных атомных объектах, так и в стране в целом. Особенно это касалось проблемы раннего обнаружения и предупреждения ядерных аварий в части обеспечения атомных объектов и прилегающих к ним территорий соответствующими контрольно-измерительными средствами. Можно с уверенностью сказать, что в этот период впервые в истории развития атомной науки и техники вопросы, связанные с оснащением и применением аппаратуры для измерения ионизирующего излучения, оказались в центре внимания не только профессионалов, но и широкой общественности.

Среди населения распространялись различные слухи о якобы скрываемых истинных данных о радиационной обстановке в районе, области и стране в целом. Не хватало серийных приборов радиационного контроля, их номенклатура оказалась явно недостаточной. В связи с этим Военно-промышленная комиссия при Правительстве СССР в конце 1986 г. поручила СНИИПу возглавить разработку концепции построения государственной системы радиационного контроля, для чего была задана научно-исследовательская работа. По ее результатам, с использованием системного анализа выявившихся в процессе работы проблем, удалось сформулировать концепцию, в соответствии с которой предлагалось создать в стране Государственную систему радиационной безопасности.

Суть концепции состояла в том, что создаваемая система должна не только фиксировать факты обнаружения повышенных уровней излучения, но и позволять формировать обоснованные рекомендации для принятия оптимальных решений по предотвращению негативного развития аварийных ситуаций и скорейшей ликвидации последствий таких аварий.

Важнейшим элементом этой системы, ее измерительной основой должна была стать Государственная система радиационного мониторинга, задача которой состояла в формировании оперативной информации о радиационно-экологической обстановке как на атомных объектах, так и на прилегающих к ним территориях. Создаваемая система мониторинга имела своей целью контроль и защиту человека от воздействия неблагоприятных для здоровья факторов, прежде всего радиационных. В этой связи было решено строить ее по принципу многоярусной защиты на пути распространения радиоактивности от источника к человеку. В основу положили глубоко эшелонированную архитектуру, включавшую несколько барьеров – измерительных приборов и комплексов, задачей которых было обнаружение отклонений радиационной обстановки от нормальной и оперативное формирование предупредительной информации с высоким быстродействием и точностью. Очевидно, что роль первого барьера отводилась приборам и комплексам радиационного технологического контроля.

Здесь важно подчеркнуть, что любой атомный объект характеризуется двумя связанными составляющими: технологического контура, определяющего процессы переработки ядерных и/или радиоактивных материалов и преобразования энергии, а также информационно-управляющего контура, выполняющего сбор, обработку и

использование информации как о ходе основного технологического процесса, так и о радиационно-экологическом состоянии объекта в целом и его составляющих.

Функции второго барьера радиационной защиты в принятой архитектуре возлагались на аппаратуру контроля радиоактивных выбросов в атмосферу и сбросов жидких сред. Эти два фактора непосредственно оказывают влияние на экологическую обстановку, что и предопределило важность данного контроля. Важно отметить, что данный барьер позволяет следить не только за экологической обстановкой, но и контролировать эффективность работы фильтров и очистных установок непосредственно самого атомного объекта.

И, наконец, третий информационный барьер радиозэкологической безопасности было решено сформировать на основе аппаратуры автоматического контроля радиационного фона на значительных по площади территориях, прилегающих к атомным объектам и интегрированных в общую централизованную структуру мобильных лабораторных комплексов, оснащенных широким спектром аппаратуры радиационного контроля.

В итоге, результатом выполнения научно-исследовательской работы в СНИИПе вместе с другими организациями отрасли стало целостное научно обоснованное решение, определившее на многие десятилетия направления развития методов и средств радиационно-экологического контроля не только для объектов атомной промышленности, но других техногенных объектов. Надо сказать, что этой работой было обращено внимание и положено начало глубоким исследованиям в области промышленной и экологической безопасности химических производств, металлургических комбинатов и других промышленных объектов.

Концепция эшелонированного контроля также получила свое развитие как в части построения систем радиационного контроля, так и в части построения архитектуры АСУ ТП энергоблоков. Эта концепция в настоящее время нашла отражение во многих нормативных документах как национального, так и международного статуса. При выполнении НИР были проработаны элементы будущей системы ЕГАСКРО, что затем и позволило объединить все задействованные ведомственные службы и сети радиационного контроля и мониторинга. Тогда же был сделан вывод: реализовать в первоначально задуманном, всеобъемлющем объеме на федеральном уровне систему ЕГАСКРО в то время в то время было затруднительно из-за исключительно высокой стоимости.

УЧАСТИЕ СНИИПА В СОЗДАНИИ АТОМНОГО ЛЕДОКОЛЬНОГО ФЛОТА

д.т.н., проф. Чебышов С.Б.

Российская Арктика – полярная область земли в пределах границ РФ, примыкающая к Северному полюсу и включающая северное побережье Евразии, Северный Ледовитый океан с островами и часть Тихого океана, омывающую Чукотку. Это чрезвычайно важный для страны район, учитывая нескончаемые запасы природных богатств. Современные границы российской Арктики определены указом президента РФ Владимира Путина «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» от 2 мая 2014 года.

На совместном заседании Арктического совета и Русского географического общества в Архангельске президент РФ В.В. Путин подтвердил, что Арктика, атомный флот, геологические и географические исследования Арктического шлейфа, транспортный коридор – Северный морской путь и отечественный Северный флот будут развиваться и на это развитие страна не пожалеет финансирования. А в одном из следующих заседаний Владимир Владимирович уточнил: «Сейчас, в наши дни, значение Арктики многократно возрастает. Она становится местом самого пристального внимания стран и народов и как регион, от самочувствия которого во многом зависит климат планеты, и как сокровищница уникальной природы, и, конечно, как территория с колоссальными экономическими возможностями».

В докладе на ученом совете ФГУП «НИЦ Курчатовский институт» 13 февраля 2013 г. вице-президент Российской академии наук академик Н.П. Лаверов подробно остановился на доказательствах того, что затопленная много тысяч лет назад территория от Таймыра до Чукотки, т.е. прибрежная часть Северного Ледовитого океана, которая простирается на 540 – 560 км от берега и где сосредоточено значительное число богатств земной кладовой, ранее входила в состав материка. Она была затоплена водами относительно недавно по историческим меркам, поэтому ее правомерно считать территорией шельфовой зоны России.

Если просуммировать все известные запасы углеводородов на шельфах, то 58 %, или более половины, согласно докладу академика Лаверова, сосредоточены в Арктическом бассейне. Коллектив ученых и специалистов, всесторонне изучивший обоснованность претензий Российской Федерации на шельфовые зоны от Таймыра до Чукотки, пришел к выводу о правомерности продления границ нефтегазоносных зон вглубь океана в соответствии с Конвенцией, утвержденной ООН.

Как теперь известно, русские мореплаватели начали осваивать побережье Северного Ледовитого океана с XI века. В XII-XIII веках поморы исследовали острова Вайгач, Новая Земля, а в конце XV века – острова архипелага Шпицберген и остров Медвежий в Баренцевом море, началась колонизация Беломорья. Главным русским портом на европейском севере России вплоть до XX века оставался Архангельск, основанный в 1584 г., а имена Семена Челюскина, Харитона Лаптева, Георгия Седова и других отважных полярников навсегда остались в истории освоения полярных широт.

В 1930-1940-е годы в СССР началось активное заселение и промышленное освоение Арктики. В этот период были построены арктические порты Игарка, Диксон, Певек, Тикси, основаны города Нарьян-Мар, Норильск, Воркута и другие. Тогда же в арктических районах Западной Сибири удалось обнаружить первые значительные запасы нефти и газа. Созданному в 1932 г. при Совете народных комиссаров СССР Главному управлению Северного морского пути (Главсевморпути) поручалось народно-хозяйственное освоение Арктики и обеспечение судоходства по Северному морскому пути (СМП) от Белого моря до Берингова пролива. В том же году экспедиция ледокольного парохода «Сибиряков», возглавляемая О.Ю. Шмидтом, прошла СМП за одну навигацию (65 дней).

Тогда подобное достижение считалось исключительным. Но время идет вперед и сегодня абсолютно понятно: развитие российской Арктики возможно только с использованием современных судов ледового класса и ледоколов. В настоящее время Россия является мировым лидером в области применения такого флота, самого мощного – атомного, который позволяет успешно решать транспортные задачи в акватории Северного Ледовитого океана. Страна не намерена уступать своего лидерство в данной

области, поэтому она поэтапно совершенствует атомный ледокольный флот – ключевое звено инфраструктуры функционирования Северного морского пути. А важные шаги в этом направлении продумывались еще в начале 1950-х годов, примерно 70 лет назад.

Определяющую роль в создании первого в мире атомного ледокола «Ленин» положило постановление Совета Министров СССР от 20 ноября 1953 г. «О разработке арктического ледокола с ядерной энергетической установкой». Ледокол предназначался для проводки в ледовых условиях Арктики по высокоширотным трассам и Северному морскому пути транспортных судов, а также для экспедиционного плавания. Обратившиеся перед этим к правительству Советского Союза академики А.П. Александров и И.В. Курчатов не сомневались, что «появление мощного атомного ледокола позволит гораздо эффективнее использовать Северный морской путь как важнейшую транспортную магистраль страны и одновременно станет убедительной демонстрацией серьезности намерений и планов СССР по использованию атомной энергии в мирных целях».

Генеральным проектировщиком атомохода летом 1954 г. было выбрано ленинградское ЦКБ-15 (впоследствии ЦКБ «Айсберг») во главе с главным конструктором В.И. Негановым. Главный конструктор Горьковского завода № 92, впоследствии переименованного в ОБКМ, И.И. Африкантов руководил созданием атомной паропроизводящей установки (АППУ). Научное руководство всем комплексом работ осуществлял академик А.П. Александров.

Коллективы разработчиков судна и его АППУ столкнулись с множеством проблем, ранее неизвестных. Так, из-за новизны оборудования во время проектирования возникли сложности с компоновкой машинного отделения. Было принято решение создать макет машинного отделения из дерева. На нем отработывались компоновочные решения конструкторов, благо переделать тот или иной фрагмент помещений оказалось достаточно просто и, без сомнения, куда дешевле, чем если бы это пришлось «вживую» делать на строящемся судне.

К разработке основных элементов ЯЭУ в 1954 – 1956 гг. привлекли ОКБ-12, спроектировавшие систему управления и защиты нового реактора, СКБК Балтийского завода (парогенераторы), ВИАМ (твэлы активной зоны реактора), Ленинградский СКБ ЛКЗ (сейчас Открытое акционерное общество «Центральное конструкторское бюро машиностроения», делало главные турбины), Ленинградский завод «Электросила» (главные турбогенераторы и электродвигатели), Калужский турбинный завод (вспомогательные турбогенераторы) и другие предприятия. По указанию Е.П. Славского к работам по созданию систем контроля радиационной безопасности ледокола привлекли и ЦКБ-1, возглавляемое С.В. Мамиконяном.



Атомный ледокол «Ленин» на этапе достройки

Специалистам нашего института пришлось решить немало сложных задач. Было установлено, что радиационный контроль являлся одним из самых чувствительных методов обнаружения нарушений герметичностей защитных барьеров, он позволяет определять начальные нарушения в работе системы и следить за целостностью элементов защиты. Поскольку опасные для здоровья экипажа дозы ионизирующих излучений не воспринимаются органами чувств человека, то приборы должны были информировать персонал служб о возникновении радиационной опасности.

С учетом сказанного в ЦКБ-1 начались работы над созданием первого поколения приборов для атомоходов. По сути, это был набор стационарных радиометров, каждый из которых содержал блок детектирования гамма- или бета-излучения, линию связи и центральный блок обработки и представления информации. Руководили проводимыми в 50-х годах разработками приборов первого поколения для контроля радиационной обстановки на судах флота Б.В. Немировский, А.П. Воронин, Н.А. Голованов, В.С. Жернов и др.



Реакторный отсек ледокола «Ленин»

Тем временем началось строительство ледокола на ленинградском Адмиралтейском заводе. Были определены его базовые характеристики (водоизмещение – 16 000 т, наибольшая длина – 134 м, скорость по чистой воде 19,5 узлов, автономность плавания – один год, мощность главных двигателей – 44 000 л.с.). Следовало обеспечить возможность форсирования тяжелых льдов, с целью повышения надежности вводилось резервирование ряда систем, предусматривались и некоторые другие новации. В марте 1955 г. КБ завода № 92 закончило разработку технического проекта АППУ с тремя реакторами ОК-150 тепловой мощностью 90 МВт каждый. В штатном режиме на полную мощность работали два из них, третий являлся резервным. Два ОК-150 обеспечивали выработку 360 т/ч пара температурой до 310 °С при давлении 28 атм. Каждый реактор имел две петли циркуляции с двумя парогенераторами, двумя циркуляционными и одним аварийным насосом. Диаметр цилиндрической части корпуса реактора был выбран равным 186 см, толщина его стенки — 14 см. В активной зоне реакторов применили топливо на основе диоксида урана с 5-процентным обогащением по урану-235, ввели выгорающие поглотители для компенсации избыточной реактивности, что дало возможность продлить кампанию реактора до 200 суток, а применение циркониевых сплавов в элементах конструкции зоны позволило в полтора раза уменьшить потребление урана по сравнению с активными зонами из нержавеющей стали. Секция НТС Средмаша, рассмотрев технический проект АППУ, рекомендовала запустить его в производство.

Развернувшиеся работы стали примером успешного взаимодействия самых разных технически развитых стран. Как вспоминал один из ветеранов нашего предприятия В.С. Жернов, если раньше все связанное с ядерными технологиями было покрыто

глубокой тайной, начиная от создания атомной бомбы и до постройки крупных комбинатов, то работы над «Лениным» проходили в обстановке исключительной, невиданной ранее открытости. Еще летом 1959 г. американский адмирал Х.Дж. Риквер, которого считают «отцом» атомного подводного флота США, посетил строящийся ледокол «Ленин» и получил разрешение внимательно осмотреть всю энергетическую установку ледокола. Побывали на борту премьер-министр Великобритании Гарольд Макмиллан, вице-президент США Ричард Никсон и другие высокопоставленные зарубежные лица.

АППУ атомохода вызвала закономерный интерес у всех посетителей. Она выполнялась по классической схеме, во многом сходной с использовавшейся для энергетических систем на АЭС, и включала реакторы ОК-150 водо-водяного типа, парогенераторы, циркуляционные насосы и другое оборудование. При реализации этой схемы огромную помощь разработчикам оказали ученые ЛИПАН и, конечно, А.П. Александров, успевший получить значительный опыт при решении научных вопросов атомной отрасли.

Атомоход «Ленин» заложили в июле 1956 г. Документы зафиксировали весь ход работ по его созданию, причем постоянно большое внимание уделялось обеспечению радиационной безопасности. Многие элементы конструкции АППУ выполняли роль защитных барьеров на пути возможного распространения радионуклидов. Самой важной датой в истории атомного ледокола стало 5 декабря 1959 г., когда атомоход передали в опытную эксплуатацию Мурманскому морскому пароходству. Первым капитаном назначили П.А. Пономарева.

В обращении ЦК КПСС и Совета министров СССР к ученым, конструкторам, инженерам, рабочим, морякам, всем коллективам, принимавшим участие в создании первого атомного ледокола, опубликованном в «Правде» 20 декабря 1959 г., говорилось: «Трудящиеся нашей страны одержали новую крупную победу в деле использовании атомной энергии в мирных целях, создав первый в мире атомный ледокол. “Ленин” намного превосходит по своей мощности и возможности длительного плавания все существующие ледоколы. Создание атомохода открывает новые возможности в освоении богатств советской Арктики и для дальнейшего развития народного хозяйства северных районов нашей страны...»

Судно решило многие проблемы полярников. На тот момент лучшие ледоколы с дизельной силовой установкой имели запасы топлива не более чем на 30 – 40 суток. В суровых условиях Арктики этого было явно недостаточно. Запасы топлива составляли почти одну треть массы ледокола, но, несмотря на это, в период арктической навигации судам приходилось несколько раз заходить в базы, чтобы их пополнить (за час мощный ледокол сжигал до трех тонн нефти). Были случаи, когда караваны судов зимовали в полярных льдах только из-за того, что топливо на ледоколах иссякало раньше расчетного времени. У «Ленина» таких проблем не было, поскольку вместо десятков тонн нефти ледокол расходовал в сутки всего 45 граммов ядерного горючего – то есть столько, сколько умещалось в спичечной коробке. Новое решение энергетической проблемы теоретически позволяло атомоходу за один рейс побывать и в Арктике, и у берегов Антарктиды.



Ледокол «Ленин» прокладывает путь каравану судов

Действительно, Советский Союз добился невиданного успеха. Научному руководителю работ А.П. Александрову, главному конструктору энергетической установки ледокола И.И. Африкантову и слесарю завода № 92 С.Д. Кузнецову 14 мая 1960 г. присвоили звание Героев Социалистического Труда. 12 специалистов были удостоены Ленинской премии. В соответствии с Указом Президиума Верховного совета СССР от того же мая 1960 г. за создание аппаратуры для атомного ледокола «Ленин» более 100 человек наградили орденами и медалями, в том числе шесть сотрудников нашего института. Кавалерами орденов Трудового Красного Знамени стали Е.Н. Викулин и В.С. Жернов.

За шесть навигаций «Ленина» с реакторами ОК-150 была обеспечена проводка 457 судов, пройдено во льдах более 62 тыс. миль; при этом ЯЭУ безотказно отработала 26 000 ч, продемонстрировав работоспособность в самых тяжелых условиях – при сильных качке и волнении, мощных ударах о лед. Опыт эксплуатации дал ценные данные для дальнейшего совершенствования ЯЭУ, в частности, был проработан вопрос о замене трех установок двумя более мощными. Кроме того, выявились существенные недостатки в конструкции ОК-150. В частности, отмечалась недостаточная надежность отдельных элементов оборудования и низкая ремонтпригодность.

В 1966 г. при подготовке атомного ледокола «Ленин» к очередной навигации в корпусе реактора обнаружили течь, устранить которую без замены реактора оказалось невозможно. Замена корпуса была связана с нарушением герметизации первого контура. Демонтажные работы предстояло производить в тяжелой радиационной обстановке. К этому времени в ОКБМ выполнили проработку компоновки новой установки с реакторами ОК-900 в габаритах отсека АППУ ледокола «Ленин». Один из вариантов удачно «вписался» в отведенные для установки помещения. Главный конструктор АППУ И.И. Африкантов, оценив преимущества этой идеи, добился поддержки предложенного варианта ремонта ледокола в Минсредмаше. После этого первый заместитель министра среднего машиностроения А.М. Петросьянц поручил ОКБМ разработать подробные

материалы (расчеты, графики, демонстрационные чертежи и др.) по технологии замены установки, срокам и стоимости выполнения работ, связанных с производством оборудования для АППУ с двумя реакторами ОК-900.

Была разработана уникальная схема замены старого отсека с АППУ без нарушения его герметизации. Помимо Адмиралтейского завода в работах приняли участие представители Военно-инженерной академии им. Ф.Э. Дзержинского, экипаж атомного ледокола «Ленин», конструкторы ЦКБ «Айсберг». Постоянно велся контроль радиационной обстановки, организованный с помощью приборов, разработанных тогда в НИИ-1.

Большой вес установки с биологической защитой не позволял поднять ее над палубой и переместить через борт на берег или плавсредство. Поэтому решили удалять АППУ через днище. Вместе с паропроизводящей установкой нужно было выгрузить конструкции и оборудование, которые имели эксплуатационные радиоактивные загрязнения и не могли быть использованы в компоновочных решениях новой атомной установки.

Разработчики проекта модернизации «Ленина» предложили сбросить старую установку в заливе Цивольки на Новой Земле. Демонтажные работы продолжались с 8 по 19 сентября 1967 г. Ледокол отбуксировали в район захоронения АППУ, провели электрорезку фрагментов переборок и второго дна, а затем кумулятивными зарядами разрушили оставшиеся фрагменты силового набора и обшивки, «выгрузив» отсек АППУ с его одновременным захоронением в море. Участники операции вспоминали, что корпус атомохода после этого подпрыгнул вверх на несколько метров: еще бы, ведь масса отделенного отсека составляла примерно 3700 т!

26 сентября 1967 г. «Ленин» прибыл на буксире в Мурманск и 5 октября стал в док. Для восстановления днища ЦКБ «Айсберг» и Адмиралтейский завод применили оригинальную технологическую систему. Новую секцию, изготовленную по размерам выреза в днище ледокола, установили на килевую дорожку плавдока. Док притопили, а ледокол расположили в доке так, что вырез в днище оказался точно над секцией. При всплытии дока новая секция вошла в вырез днища ледокола, затем ее приварили к корпусу. Работы по восстановлению днища и монтажу забортной арматуры по новому проекту модернизации были закончены 20 ноября 1967 г. Проект агрегатной выгрузки блока атомной установки без нарушения его герметизации - уникальный по масштабам и инженерной смелости проект, выполненный впервые в практике мирового судостроения.

Модернизированный ледокол «Ленин» продолжил работу в Арктике. В июне 1971 г. он стал вторым из надводных судов (после ледокольного парохода «А. Сибиряков» в 1932 г.), прошедшим севернее архипелага Северная Земля. Рейс начался в Мурманске и закончился в Певеке. А всего «Ленин» проработал 30 лет, провел 3740 судов, прошёл 654 тыс. миль, из них во льдах 563,6 тыс. миль. В 1989 году его вывели из эксплуатации и поставили на вечную стоянку в Мурманске. Сейчас на ледоколе действует музей, ведутся работы по расширению экспозиции.

За время работы «Ленина» благодаря совершенствованию аппаратуры, выпускаемой в НИИ-1, затем СНИИП, проведению под руководством В.В. Матвеева масштабных исследований в рамках НИР «Квадрат» и «Литий», удалось уточнить основной круг задач радиационного контроля, их объем, и прежде всего оценить необходимость технологического контроля состояния теплоносителя, что характеризовало целостность ТВЭЛов, а также осуществлять непрерывный мониторинг герметичности оборудования.

Кроме того, был ужесточен контроль доз облучения членов экипажа, ведь ледокол являлся гражданским судном.

Следующим стал ледокол «Арктика» – головной корабль серии нового проекта, который заложили в июле 1971 г. на Балтийском заводе в Ленинграде, спустили на воду в последних числах 1972 г. Сдача в эксплуатацию и подъём государственного флага на ледоколе произошли 25 апреля 1975 г. «Арктика» и и однотипные с ней ледоколы оснащены двумя реакторами ОК-900А мощностью 171 МВт каждый. Они размещены в отдельном закрытом отсеке и весят по 160 тонн. Биологическая защита предусматривает несколько слоев воды, стали и бетона высокой плотности, радиационная обстановка контролируется по всему кораблю 86 датчиками, из которых примерно треть разработаны в СНИИП.

Атомоход «Арктика» совершил легендарный поход к Северному полюсу, посвященный 60-летию Октябрьской революции. 17 августа 1977 г. в 4 часа утра по московскому времени атомный ледокол впервые в мире достиг в активном плавании географической точки полюса. За время похода ледокол прошел 3852 морских мили, в том числе 1200 миль с преодолением многолетнего льда.

Экипаж судна (около 150 моряков) на период арктической экспедиции был усилен научными и техническими специалистами. В этом рейсе на борту судна находилось 207 человек, включая сотрудников ИАЭ им. И.В. Курчатова, которые постоянно контролировали работу всей энергетической установки судна. По итогам экспедиции за проявленные мужество и героизм четверым участникам присвоили звание Героев Социалистического Труда, в том числе капитану атомохода Ю.С. Кучиеву и руководителю экспедиции министру морского флота Т.Б. Гуженко.



*Первый и последний атомные ледоколы проекта 10520:
«Арктика» и «50 лет Победы»*

Позднее на Балтийском заводе в Ленинграде по проекту атомного ледокола «Арктика» было построено ещё пять атомных ледоколов: «Сибирь» (1977), «Россия» (1985), «Советский Союз» (1989), «Ямал» (1992), «50 лет Победы» (2007). В их постройке принимал участие СНИИП, здесь есть труд и наших специалистов. У каждого атомохода были свои яркие страницы. Атомный ледокол «Сибирь», например, вошел в историю как первое судно, осуществившее круглогодичную навигацию на маршруте Мурманск – Дудинка - Мурманск.

Особенностью конструкции ледокола «Советский Союз», введенного в строй в 1990 г., состояла в том, что в любой момент времени его можно было переоборудовать во вспомогательный крейсер. Изначально судно использовалось для арктического туризма. При проведении трансполярных круизов с его борта устанавливались дрейфующие метеорологические ледовые станции, работавшие в автоматическом режиме, а также метеорологические буи. Позднее ледокол в период стоянки около Мурманска использовался для электроснабжения объектов, расположенных вблизи берега.

В настоящее время в эксплуатации находятся и работают на трассе СМП последние атомоходы этой серии: «Ямал» и «50 лет Победы». Активно используются также ледоколы «Вайгач» и «Таймыр», отличительная черта которых – уменьшенная осадка, позволяющая обслуживать суда, следующие по СМП с заходом в устья сибирских рек. Эти ледоколы имеют АППУ с реакторами КЛТ-40 мощностью по 40 МВт, созданные на основе хорошо зарекомендовавших ОК-900А. Реактором КЛТ-40 также располагает лихтеровоз «Севморпуть». В отличие от ледоколов класса «Арктика», судно способно работать и в тёплых водах. На протяжении нескольких лет «Севморпуть» обеспечивал выполнение грузоперевозок на линии Мурманск — Дудинка.

Принципиально новым образцом атомохода стал еще один ледокол «Арктика» проекта 22220, введенный в строй в 2020 г. (он получил имя списанного предшественника, спущенного на воду в далеком 1972 г. и отработавшего свой ресурсный срок). Судно оборудовали двумя легкими и компактными ядерными энергетическими установками с реакторами РИТМ-200 тепловой мощностью по 175 МВт каждый. Оно рассчитано на преодоление сплошного льда толщиной 2,8 метра со скоростью 1,5 – 2 узла (а 3,0 метра является наибольшей). Ледокол является двухосадочным: при глубокой осадке он способен проламывать толстые океанские льды, при мелкой - работать непосредственно в руслах рек, тем самым замещая собой сразу два ледокола классов «Арктика» и «Таймыр», соответственно.

В декабре 2021 г. «Атомфлоту» был передан второй ледокол проекта 22220 «Сибирь», а 22 ноября 2022 г. состоялась церемония поднятия флага на третьем ледоколе «Урал». Строятся еще два ледокола этого типа: «Якутия» и «Чукотка».

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ГРАЖДАНСКИХ СУДОВ С ЯЭУ

к.т.н. Книжник А.С., к.т.н. Бусаров П.А., Костин В.А.

Я пришел в СНИИП в конце лета 1972 г. в отдел А.Ф. Белова, в лабораторию Е.В. Куркова. Позади осталась учеба в МИЭМ и трехлетняя работа там же на кафедре. Моей первой большой работой на нашем предприятии стало участие в разработке устройства отображения информации (то, что сейчас называется дисплеем) для системы

внутриреакторного контроля «Гиндукуш». Устройство разработала группа, возглавляемая В.М. Васильевым, и в 1975 г. его продемонстрировали на выставке СНИИПа.

Первый дисплей, созданный в СНИИПе, был достаточно простым, и представлял собой стойку с двумя каркасами электронных блоков и телевизионное видеоконтрольное устройство. Такой дисплей и вошел в состав первой системы внутриреакторного контроля «Гиндукуш» для 5-го блока Нововоронежской АЭС. В разработке этой системы участвовали специалисты нескольких отделов СНИИПа, возглавляемых И.В. Батениным, С.С. Курочкиным и А.Ф. Беловым. Систему ввели в эксплуатацию в 1979 г.

Работа в большой команде разработчиков, организация взаимодействия созданного тобой устройства с другими устройствами, использование в аппаратуре стандартных каналов передачи данных САМАС-ВЕКТОР дало мне, достаточно молодому специалисту, неоценимый опыт, который пригодился в последующих работах. В дальнейшем я участвовал в передаче документации на завод «Тензор» (г. Дубна) и в настройке первого серийного образца аппаратуры «Гиндукуш», выпущенной этим предприятием.

В конце 1970-х годов нашему отделу, возглавляемому д.т.н. А.Ф. Беловым, поручили совершенно новое дело – разработать первое поколение аппаратуры радиационного контроля для гражданских судов с ядерными энергетическими установками (ЯЭУ). Системы радиационного контроля на судах и атомных станциях различаются, и прежде всего по объемам и количеству точек контроля.

Реактор АЭС гораздо большей мощности чем на судне. Но самое главное различие – это автономность. Когда ледокол уходит в плавание, он минимум 4 месяца не попадает в порт. Поэтому система должна работать надежно и требовать минимального обслуживания соответствующим рабочим персоналом. Еще одно отличие – площадь судна относительно небольшая, поэтому оборудование требуется компактное. Время создания также накладывает свой отпечаток на требования к системам радиационного контроля. Если раньше служба радиационного контроля на корабле составляла в среднем 10 человек, то сейчас их численность сокращена до трех. Отчасти, это обусловлено повышением надежности работы ядерной энергетической установки на судне, но в то же время обеспечивается высокой надежностью аппаратуры радиационного контроля и позволяем минимизировать персонал, благодаря оптимизации при организации обслуживания данной аппаратуры.

Приятно подчеркнуть, что СНИИП являлся пионером ее создания. Аппаратура радиационного контроля, поставленная нашим предприятием на первый атомный ледокол «Ленин», представляла собой набор автономных приборов (каналов), в которых измеряемая величина сравнивалась с предельно допустимым значением (так называемой уставкой). Система содержала 50 измерительных каналов и имела «ниточную» структуру, позволявших при имеющейся в то время элементной базе получить приемлемую надежность.

Однако уже при модернизации атомного ледокола «Ленин» в 1967 г. эту систему заменили разработанным также в СНИИП комплексом аппаратуры радиационного контроля КАРК-01 «Кашалот» (главный конструктор В.С. Жернов). Последняя имела уже централизованную структуру, включавшее мнемотабло, на котором, в случае превышения уставок загорался соответствующий сигнал, электронно-лучевой индикатор, отображавший состояние измерительных каналов в виде гистограмм значений, измеренных в каналах, имелся многоканальный цифровой интегратор. В состав

комплекса входил блок контроля, обеспечивающий выдачу сигнала неисправности при отказе любого блока детектирования. Комплекс КАРК-01 поставили также на атомоходы «Арктика» (1975 г.) и «Сибирь» (1978 г.).

В конце 70-х годов XX века было принято решение о строительстве новой серии судов с ядерными энергетическими установками, в которую должны были войти линейные ледоколы класса «Арктика», низкоосадочные ледоколы для работы в устьях рек и транспортные суда ледового класса. СНИИП должен был обеспечить все эти суда аппаратурой радиационного контроля. Как уже было сказано выше, ее разработка была поручена отделу, возглавляемому А.Ф. Беловым, который стал научным руководителем и главным конструктором данной работы.

Несомненно, Анатолий Филиппович принял активное участие в формировании меня, как специалиста. Спортсмен, заслуженный мастер спорта, он научил быстро и жестко реагировать на требования заказчика бороться за свое мнение и в то же время непременно находить компромиссное решение. Любая разработка – это поиск компромисса между желанием и возможностью. Они далеко всегда не совпадают, при этом, ресурсы на реализацию, как правило ограничены, но, как правило, компромисс находится всегда.

Из наших институтских руководителей, я бы обязательно отметил Игоря Сергеевича Крашенинникова, заместителя директора по науке, который курировал мою первую работу по внутриреакторному контролю, и потом мы довольно часто обсуждали различные вопросы. Мне, в качества заместителя главного конструктора, поручили разработку комплекса аппаратуры радиационного контроля для линейных ледоколов, первым из которых в этой серии должен был стать атомный ледокол «Россия». С той поры вся моя работа в основном оказалась связана с атомным флотом.

«Россия» (первый с этим названием) – мой самый «любимый» ледокол. Ведь это самое первое судно, на котором была установлена система, сделанная с моим участием! Экипаж, который пришел на «Россию» с ледокола «Ленин» многому научил меня: и в части организации работы экипажа с нашей аппаратурой, и в части организации ее обслуживания. Разработка комплекса радиационного контроля, как и создание большинства информационно-измерительных систем, началась с определения номенклатуры контролируемых этим комплексом параметров и диапазонов контроля.

В этой работе помимо непосредственно исполнителя участвовали представители заказчика (в данном случае – Мурманского морского пароходства), представители организации – научного руководителя программы по созданию атомных ледоколов (Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова), разработчики ядерной энергетической установки (ОКБМ), проектанты судна (ЦКБ «Айсберг»), представители контролирующих и надзирающих организаций (Морской регистр, Институт гигиены морского транспорта и др.).

Взгляды этих организаций на обсуждаемые проблемы далеко не всегда совпадали, а поиск взаимоприемлемых решений проходил в долгих и весьма бурных обсуждениях, не обходилось без острых дискуссий. На этом этапе мне довелось поработать с незаурядными людьми, которые участвовали в создании и работали на первом атомном ледоколе «Ленин». Остались в памяти встречи с Б.Г. Пологих (я считал и считаю главного научного сотрудника Института ядерных реакторов РНЦ "Курчатовский институт" одним из корифеев нашего направления в отрасли), М.В. Нецецким, О.С. Никаноровым, А.И. Соколовым и др. Их предложения и мнения учитывались в первую очередь. В то же время

участие в этих обсуждениях со стороны СНИИПа не только разработчиков аппаратуры, но и специалистов-физиков, обеспечивал выбор решений, в максимальной степени учитывающие возможности аппаратуры, создаваемой нашим предприятием.

Процесс определения номенклатуры контролируемых параметров, размещения точек контроля на ледоколе не заканчивался на стадии разработки документации на аппаратуру, а продолжался и на этапах пуска и опытной эксплуатации комплекса радиационного контроля.

Еще на начальном этапе разработки нового поколения аппаратуры радиационного контроля для гражданских судов было принято решение об использовании в этих комплексах блоков детектирования и автономных приборов радиационного контроля, разработанных в СНИИП по заказу ВМФ (научный руководитель работы д.т.н., профессор В.В. Матвеев). Эта аппаратура прошла полный цикл государственных испытаний, и за ее выпуск взялся завод «Электрон» в г. Желтые Воды. Такое решение позволило сократить сроки и затраты на проектирование новых комплексов. Значительную помощь в привязке этих устройств и блоков ко вновь разрабатываемой аппаратуре оказали нам специалисты отдела, руководимого Б.В. Немировским. В дальнейшем при создании аппаратуры радиационного контроля для атомного лихтеровоза «Севморпуть» СНИИП разработал ряд оригинальных блоков и устройств детектирования, имеющих улучшенные характеристики (главный конструктор блоков – Ю.П. Федоровский).

После определения номенклатуры контролируемых параметров и диапазонов контроля необходимо было определить структуру будущего комплекса. Обсуждение различных ее вариантов проводилось как в научно-техническом совете нашего отдела, так и со специалистами других отделов СНИИП, в частности с А.Н. Климовым и И.В. Махновским, и их подчиненными.

В итоге этих дискуссий для разрабатываемого комплекса была принята иерархическая структура, нижний уровень которой составляли блоки и устройства детектирования, второй уровень – устройства предварительной обработки информации (так появилась аббревиатура «УПОИ»), а на верхнем уровне находилось центральное устройство обработки информации (ЦУОИ). Подобная структура, по нашему мнению, позволяла сохранить основной объем контроля даже при отказе какого-либо УПОИ и обеспечить дублирование отображения данных о состоянии радиационной обстановки как на входящем в состав ЦУОИ дисплее, так и на мнемосхемах, функционирующих независимо от ЦУОИ. Эта структура с некоторыми коррективами используется в комплексах радиационного контроля на судах с ЯЭУ до настоящего времени.

На следующем этапе разработки перед нами встал вопрос о выборе элементной базы. В это время (начало 80-х годов) электронная промышленность СССР только осваивала выпуск первых микропроцессоров. Эти микропроцессоры оказались весьма несовершенны, выпускались в больших корпусах (вспомним анекдот про «советские большие интегральные схемы [БИС] – самые большие в мире»), но даже при этом они позволяли в значительной степени сократить объем аппаратуры и, в тоже время, расширить ее возможности. Так в разрабатываемой нами аппаратуре появились микропроцессоры серии 1804, которые использовались как в УПОИ, так и в ЦУОИ. Программисты нашего отдела под руководством П.А. Бусарова разработали специальные средства для написания программ для аппаратуры с данными микропроцессорами, а также реализовали соответствующие рабочие программы.

В ходе разработки аппаратуры радиационного контроля для судов с ЯЭУ встал вопрос о конструктиве, который мог быть использован для данной аппаратуры. Жесткие требования к устойчивости этой аппаратуры относительно механических воздействий, которым она подвергалась на ледоколах (удары с ускорением до 60 g), вынудили отказаться от использования конструктивов, принятых для аппаратуры на АЭС и в других системах. Поэтому конструкторским бюро под руководством Ю.В. Толмачева был предложен оригинальный конструктив, который предусматривал использование корпусов, изготовленных путем литья под давлением с дальнейшей обработкой корпусов на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). После бурных обсуждений эти предложения КБ были приняты, после чего аппаратура СНИИП для судов с ЯЭУ с тех пор выпускалась только в таком конструктиве. Решения, положенные в основу данного конструктива, нашли свое продолжение и в аппаратуре радиационного контроля для ВМФ, выпускаемой в настоящее время.

В 1983 г. в СНИИПе изготовили опытный образец аппаратуры радиационного контроля нового поколения, который прошел полный цикл испытаний, а в марте 1985 г. первый комплекс аппаратуры КАРК-03 «Лантан» поставили на Балтийский судостроительный завод для установки на недавно построенном и введенном в эксплуатацию атомном ледоколе «Россия». Практически все действующие атомоходы, кроме предпоследнего – «50 лет Победы» оснащены аппаратурой, в СНИИПе.

При этом, мы сами, разработчики на ледоколах ходили достаточно редко. Я принимал участие в ходовых испытаниях ледокола «Россия» – это был первый серийный ледокол, на базе которого были построены такие суда, как «Советский Союз» и «Ямал». В настоящее время из этой серии в работе остался один «Ямал». Кроме того, в эксплуатации находятся мелкосидящие ледоколы «Таймыр» и Вайгач», а также атомный лихтеровоз «Севморпуть», который, после долгого ремонта сейчас снова вышел в море. Аппаратура радиационного контроля, установленная на этих судах, была модернизирована нами в 2003 – 2008 гг.

Если про «Россию» я всегда вспоминаю с удовольствием, то ледокол «Таймыр» оказался самым сложным, проблемным; казалось, с ним случались все неприятности, которые только могли произойти. Началось это еще на этапе его постройки в Финляндии. При монтаже нашей системы финны применили новую технологию, но, когда ледокол привели на достройку на Балтийский завод Петербурга, то выяснилось, что монтаж не выдержал сложного перехода и его полностью пришлось переделывать. Неприятность продолжились на этапе пуска ядерной установки, когда мы обнаружили, что из-за ошибки проектанта под помещением, где была установлена наша аппаратура, проложен трубопровод и температура в помещении достигала 50 градусов, что серьезно усложняло работу. После начала штатной эксплуатации ледокола при проведении учебной пожарной тревоги и включении пожарной сигнализации наша аппаратура неожиданно выдала команду на сброс стержней для остановки реактора. Но мы, к счастью, быстро разобрались в чем дело – оказалось причина в заводском браке в группе блоков детектирования. И это далеко не весь перечень неприятностей, с которыми мы столкнулись на этом ледоколе.

Вообще, когда приезжаешь на ледоколы на пуско-наладочные работы или на техническое обслуживание, не знаешь, что тебя ожидает, каков объем работы, но сроки почти всегда строго ограничены и поэтому работать приходится не по 8 часов в сутки, а гораздо больше. Раньше, когда гостиниц было мало и они были для нас практически

недоступны, мы жили в общежитиях. И время, остававшееся после работы, уходило на то, чтобы добраться от завода, немного отдохнуть, поспать и снова отправляться работать.

Большие усилия мы вложили в аппаратуру для системы радиационного контроля для плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС), которую построили на Балтийском заводе в Петербурге. Это дело представляется сегодня весьма перспективным. ПАТЭС – это одна из областей мирового хозяйства, где мы можем получить рынки сбыта как внутри страны, так и за рубежом, например, в Азиатском-Тихоокеанском районе, в Африке, Латинской Америке. Ведь наша страна, как никакая другая, обладает опытом постройки и эксплуатации морских коммерческих установок. Создание головной установки для энергоснабжения порта Певек на Северном морском пути позволит также обеспечить теплом город, опреснять воду, решать другие задачи. Словом, дело это представляется весьма перспективным.

Хотелось в заключение поделиться некоторыми наблюдениями и соображениями. Если сравнивать качество управления в 70-80-х годах и сегодня – то, как мне кажется, прогресса не получилось. Сейчас к оценке работы предъявляются абсолютно другие критерии: упор делается на прибыль. С одной стороны, это понятно и правильно. Но если предприятие будет гнаться за сиюминутной прибылью, не вкладывая деньги в перспективные разработки, в собственное развитие, то длительное время остаться «на коне» не удастся, потом потеряет свою часть рынка. И если в Советском Союзе у СНИИПа конкурентов внутри страны не было, то сегодня они есть, и они, зачастую, нас обходят. Мне кажется, что залог успеха предприятия в будущем – развивать компетенции, изыскивать возможности для вложений в перспективные, стратегические разработки.

Еще одна сложность сегодняшнего дня – излишняя бюрократизация. Для разработчика сегодня получить быстро новую комплектацию и использовать ее в создаваемой серийной аппаратуре – большая проблема. Чтобы получить комплектующие для разработки, другие необходимые материалы необходимо проводить тендер, на что уходит изрядное количество времени и сил. А без этого мы не можем проектировать современную аппаратуру – возникает задержка во времени. Я понимаю, зачем нужны тендеры, есть желание искоренить коррупцию, но, как разработчику, мне от этого легче не становится. Только процесс заключения договора может длиться чуть ли не год. Поэтому, в этом отношении нам стало тяжелее.

Кроме того, не один год делается упор на серийное производство, а не на новые разработки. И я с подобным не согласен. Ведь у многих западных фирм, ведущих на рынке, в стоимости аппаратуры более 50 % это стоимость патентов, различных ноу-хау. Необходимо уделять внимание новым разработкам, заделам и это, в дальнейшем должно непременно привести к большей эффективности нашей аппаратуры и, как следствие, к росту прибыли.

Помимо этого, с моей субъективной точки зрения, в отрасли становится меньше квалифицированных людей. Приходят новые кадры, молодежь, современные ребята и девушки, скажем из профильного МИФИ (в настоящее время, Национальный исследовательский ядерный университет), тем более из МАИ и МЭИ, других вузов, хорошо знающие автоматику, вычислительную технику, но которые, мягко говоря, не всегда понимают специфику ядерного приборостроения, нашей повседневной работы. Процесс постижения «истин» проходит не быстро и далеко не безболезненно. Над этим надо серьезно задуматься...

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СНИИП В ИНТЕРЕСАХ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

д.т.н., проф. Чебышов С.Б., к.т.н. Хазанов Д.Б.

Подводные лодки – мощное оружие для боевых действий на морях и в океанах, бурное развитие получили в период Первой и Второй мировых войн. До 1944 г. все подлодки большую часть времени проводили в надводном положении и, по сути, погружались под воду только для атаки вражеских кораблей. В то время в подводном судостроении одной из наиболее важных проблем было увеличение времени нахождения под водой и скорости подводного хода как наиболее важных характеристик подводных лодок. Прогрессу в этой области мешало несовершенство энергетических установок и, в частности, их малая мощность и зависимость времени нахождения под водой от объема кислорода внутри лодки.

Появление устройства для работы дизелей под водой - шноркеля - позволило превратить лодки из ныряющих в «настоящие» подводные. Создание для подводных лодок в середине XX века компактных атомных энергосиловых установок (АЭУ) большой мощности стало крупным научно-техническим достижением человечества. Это привело к качественному скачку в тактике применения подводного флота, позволило кардинально улучшить такие характеристики лодок, как длительность пребывания под водой, скорость подводного хода, скрытность, автономность, т.е. изменились наиболее важные параметры.

Как нам сегодня известно, масштабные исследовательские работы в области АЭУ для атомных подводных лодок в США начались в 1946 г., вскоре после создания и испытания первых атомных бомб. Американцы привлекли к решению проблемы крупные исследовательские центры и мощные машиностроительные корпорации. В конце 1954 г. испытания опытной атомной подводной лодки (АПЛ) «Наутилус» с АЭУ завершились, в январе следующего года ее передали в опытную эксплуатацию в ВМФ США.

В СССР исследования и разворот работ над созданием установок для атомных подводных лодок начали только в 1952 г. В правительстве полагали, что отвлечение и распыление материальных ресурсов и финансов от решения основной задачи того времени – создания отечественного атомного оружия – недопустимо. В те годы шло масштабное восстановление разрушенного войной народного хозяйства. Однако Холодная война набирала обороты и после успешных испытаний в 1949–1951 гг. собственных атомных бомб, различных по типу и мощности, у нас стали задумываться о возможной борьбе с потенциальным противником на просторах мирового океана.

В июне 1952 г. выдающиеся советские ученые-атомщики И.В. Курчатов, А.П. Александров и Н.А. Доллежал, понимая пагубность последствий для обороны и безопасности страны дальнейшего бездействия в области строительства современного подводного флота, обратились с письмом в правительство, предлагая срочно приступить к созданию отечественной опытной подводной лодки с ядерным энергоисточником. Данное предложение активно поддержал В.А. Малышев, в то время заместитель председателя Совета министров СССР. Вскоре после этого Вячеслава Александровича назначили министром среднего машиностроения – ведомства, ответственного за работы по атомной тематике, в том числе и создание АПЛ.

Малышев стал лично курировать эту проблему, провел совещание с участием А.П. Александрова, Н.А. Доллежала и В.Н. Перегудова; последнего в апреле 1953 г. назначили начальником СКБ-143, специально созданного для проектирования атомных подлодок, а

затем главным конструктором первых советских АПЛ. Не случайно Малышева за глаза называли «главным инженером страны», поскольку он отлично знал нашу промышленность, ее возможности, имел право подключать все необходимые организации для решения неотложных задач. Среди многих организаций (НИИ, КБ, заводов), принявших участие в создании опытной АПЛ, был и наш НИИ-1, возглавлявшийся в тот период С.В. Мамиконяном.

Одним из важных принятых решений было следующее: соорудить наземный натурный стенд АЭУ для подтверждения возможности размещения в ограниченном объеме, монтажа и обслуживания установки, проведения ее испытаний в разных режимах. Также планировалось выявить недостатки в оборудовании для их своевременного устранения в АЭУ, которая предназначалась для строящейся подводной лодки. Кроме того, стенд должен был стать местом подготовки и стажировки операторов-управленцев из состава экипажа лодки и сдаточной команды завода-строителя.



Атомная подводка К-3 проекта 627

Будущая АПЛ получила в документах обозначение «объект 627». Александров и Доллежалъ начали знакомить руководителей и ведущих исполнителей НИИ, КБ, включая директора НИИ-1 Мамиконяна, со стоящими перед их организациями задачами, оговаривали первые технические задания, сроки, объем необходимых исследований. 9 сентября 1952 г. вышло постановление правительства («О проектировании и строительстве объекта 627»), которое подписал И.В. Сталин. Документ имел тогда гриф «Совершенно секретно, особая папка», что означало закрытый характер всех работ и

жесткий контроль за их ходом со стороны высших государственных органов. Научным руководителем темы назначили А.П. Александрова.

До конца 1952 г. проводились интенсивные научные и конструкторские проработки по АЭУ с двумя типами реакторов: с берилиевым замедлителем и корпусная конструкция с водой под давлением и водой в качестве замедлителя – для обоих вариантов строился натурный стенд 27/ВМ в Физико-энергетическом институте (ФЭИ) г. Обнинска. Будущая реакторная установка называлась ВМ-А. В проверке эффективности применяемых в проекте АЭУ материалов и конструкций биологической защиты приняли участие специалисты НИИ-1, вооружившись всеми имеющимися в то время приборами радиометрического и дозиметрического контроля.

Пуск первого «лодочного» реактора, смонтированного в ФЭИ, состоялся 8 марта 1956 г. Увы, из-за недостатков в конструкции крышки реактора сразу же возникли протечки радиоактивной воды, причем приборы, созданные сотрудниками НИИ-1, позволили эту протечку своевременно обнаружить, а впоследствии были внесены изменения в конструкцию крышки и больше подобная проблема не возникала. Зато началось формирование требований к ядерной безопасности корабельных энергоустановок, в чем активно принимал участие и наш институт.

Как следует из документов, 9 августа 1957 г. первую отечественную АПЛ спустили на воду, 14 сентября загрузили топливом ядерные реакторы. В процессе подготовки экипажа наши специалисты С.В. Мамиконян, Б.В. Немировский, В.С. Жернов, неоднократно бывали в Обнинске, встречались с командиром лодки капитаном 2 ранга Л.Г. Осипенко, который за проведенную работу и проявленное при этом мужество стал первым подводником, удостоенным звания Героя Советского Союза с момента окончания Великой Отечественной войны, капитаном 2 ранга Б.П. Акуловым, в ведении которого находилась атомная энергетическая установка, другими подводниками.

Подготовка не была долгой – 3 июля 1958 г. лодка, получившая тактический номер К-3, вышла на ходовые испытания в Белое море (к сожалению, не удалось установить, принял ли в них участие кто-либо из сотрудников НИИ-1). Испытания прошли успешно, была, в частности, достигнута подводная скорость 23,3 узла, что даже немного превысило расчетные значения.

Аппаратура нашего предприятия для АЭУ была ориентирована прежде всего на использование водо-водяных реакторов, но поскольку имелась существенная специфика контроля радиационного контроля на корабле, то это потребовало учесть ее при разработках. Для первой АПЛ, вступившей в строй в 1958 г., был спроектирован комплекс первого поколения аппаратуры, включавший в себя стационарную дозиметрическую установку КДУС-1 и комплект носимых приборов, дополняющих функции стационарной установки для радиационного и технологического контроля. Выполнялась аппаратура на лампах.

Установка КДУС-1 (разработчики Н.А. Плешков, Э.Л. Артемов, Е.А. Левандовский, К.П. Марков, А.А. Поздняков и др.) представляла собой, по сути, несколько локальных приборов, измерительные шкалы которых были вынесены на единую панель, называемую центральным дозиметрическим пультом. К каждому из этих приборов можно было подключить до шести блоков детектирования, контролирующих в помещениях АПЛ мощность дозы гамма-излучения в диапазоне от $0,5 \cdot 10^{-3}$ до 5 Р/ч, плотность потоков быстрых нейтронов в диапазоне от 0 до $5 \cdot 10^3$ нейтр./с·см², объемную

активность (ОА) бета-активных инертных газов, альфа- и бета-аэрозолей в диапазоне от 10^{-14} до 10^{-11} Ки/л (альфа) и от $2 \cdot 10^{-13}$ до 10^{-10} Ки/л (бета).

Заложенная структура разделения контроля на измерительную (чаще выборочно измерялись параметры в каком-либо канале) и сигнализационную (в каждом канале величина контролируемого параметра сравнивалась с уставкой, превышение которой оперативно отображалось на табло); выбранная в ходе выполнения КДУС-1 структура сохранилась практически во всех последующих поколениях систем радиационного контроля с незначительными изменениями.

Установка КДУС-1 выпускалась в двух модификациях, различавшихся по количеству каналов. Основу комплектующих изделий для установки составляли электронные лампы и газоразрядные счетчики излучений. Дополнял стационарную установку комплект носимых приборов: корабельный переносной гамма-рентгенометр РГК-1, корабельный (штанговый) радиометр бета-активности РБК-1, радиометр быстрых и тепловых нейтронов КПН-1, корабельный альфа-радиометр РАК-1, стационарный корабельный альфа-бета-радиометр КРАБ-1. Питание носимых приборов осуществлялось от аккумуляторов.

При этом приборы могли работать в жестких эксплуатационных условиях, в частности, рабочий температурный диапазон составлял от -10 до $+40$ °С. Основу комплектующих изделий составляли те же компоненты, что и в КДУС-1: электронные лампы (правда, миниатюрные), позже транзисторы и газоразрядные счетчики излучения. Конструкция пультов приборов предполагала их водозащищенное исполнение, датчики были сконструированы в брызгозащитном варианте.

Для индивидуального дозиметрического контроля членов экипажа был разработан комплект индивидуальных прямопоказывающих дозиметров (иначе называемых «карандашами») КИД-4 (разработчики Н.М. Хлюстиков и др.), в которых впервые в нашей практике были применены такие материалы, как фторопласт (изолятор) и токопроводящая пластмасса. К сожалению, качество этих первых дозиметров оставляло желать лучшего – их суточный саморазряд достигал 20% от шкалы поддиапазона.

В ходе эксплуатации К-3, получившей собственное имя «Ленинский комсомол», имелось немало и малоприятных, и героических страниц. Так, парогенераторы постоянно «текли», выходили из строя, что фиксировала наша аппаратура. Однако 17 июля 1962 г. К-3 под командованием капитана 1 ранга Л.М. Жильцова впервые в истории советского подводного флота всплыла в районе Северного полюса, экипаж корабля во льдах Центральной Арктики водрузил государственный флаг СССР. После возвращения на базу лодку на пирсе торжественно встречали Н.С. Хрущёв и министр обороны Р.Я. Малиновский.

Спустя пятилетку после появления установки КДУС-1 практически одновременно начались разработки нескольких систем второго поколения, в том числе КУРК-1 («Объект») и «Альфа» для ВМФ. Это была крупная базовая система, на основе идеологии ее построения создавались остальные. Главным конструктором установки КУРК-1 являлся начальник отдела 104 Б.В. Немировский, его заместителями были В.С. Жернов (по электронике) и М.Н. Николас (по конструированию). В работе активно участвовали А.П. Воронин, В.С. Жернов, Н.А. Голованов, В.А. Митюнин, А.И. Шилдин и др.

В установку входило 9 типов блоков детектирования, три из которых измеряли мощность экспозиционной дозы гамма-излучения. Остальные типы блоков детектирования предназначались для измерения плотности потока быстрых нейтронов,

промежуточных нейтронов, загрязненности воздуха альфа-активными аэрозолями, бета-активными аэрозолями и бета-активными газами.

Чтобы получить значение измеряемого параметра милливольтметр, входивший в состав установки, подключался к любому из 70 каналов. Уровни радиации во всех контролируемых точках индицировались на экране электронно-лучевой трубки, где значения параметров отображались вертикальными линиями соответствующей высоты в линейно-логарифмическом масштабе. Одновременно измеряемые величины документировались на ленте самопишущего прибора.

Важным достоинством установки явилось введение в состав ее блоков детектирования контрольных источников-бленкеров, с помощью которых значительно облегчалась дистанционная проверка работоспособности измерительных каналов. Конструктивно бленкер представлял собой электромагнит с латунным экраном, в основании которого на подшипниках вращалась ось с закрепленным на ней альфа- и бета-препаратом, находившимся в исходном состоянии под экраном.

Следует отметить, что установка КУРК-1 и ей сопутствующие («Альфа», «Кашалот», «Система») стали первыми крупными промышленными образцами аппаратуры, выполненными на новой для того времени транзисторной базе, а ламповая техника практически отсутствовала. Исключение составляли лишь электронно-лучевые трубки, на экранах которых представлялась полученная информация. Конструктивно все блоки установки были выполнены в брызгозащищенном, а блоки детектирования – в герметичном исполнении. Все каналы нормально функционировали при длине кабелей, соединяющих блоки детектирования с центральным пультом управления, до 200 м. Установка обеспечивала непрерывную работу до 2000 ч.

Установке КУРК-1 сопутствовал новый набор автономных носимых и стационарных инспекционных приборов. Были приняты на снабжение ВМФ шесть типов приборов, пять из которых создали коллективы СНИИП:

- корабельный альфа-нейтронный радиометр КРАН-1, предназначенный для измерений в корабельных условиях плотности потоков тепловых, промежуточных и быстрых нейтронов, а также степени загрязненности альфа-активными веществами поверхностей и оборудования; конструкция прибора была выполнена герметичной;

- корабельный бета-гамма-радиометр КРБГ-1, предназначенный для измерения степени загрязненности бета-активными веществами поверхностей оборудования и измерения МЭД гамма-излучения; конструкция прибора также была выполнена герметичной;

- корабельный альфа-бета-радиометр КРАБ-2, предназначенный для раздельного измерения степени загрязненности поверхностей альфа-активными и бета-активными веществами в телесном угле 4π , а также выдачи световых сигналов при превышении предельно-допустимых уровней загрязненности поверхностей бета-активными веществами; прибор был герметичен и питался от сети переменного тока;

- корабельный радиометр для измерения удельной активности воды и пищевых продуктов КРВП-2, предназначенный для измерения степени загрязненности воды и пищевых продуктов бета-активными веществами, используя прямой метод и с предварительным обогащением; все блоки прибора были выполнены в брызгозащитном исполнении, а питание осуществлялось от сети переменного тока напряжением (в отличие от предыдущих полностью транзистрированных приборов, радиометр КРВП-2

спроектировали на электронных лампах, а в пересчетной схеме прибора использовались декароны, показавшие, однако, впоследствии не слишком надежную работу);

– корабельное зарядное устройство ЗУК-2 для зарядки аккумуляторов, используемых в качестве источников питания носимых приборов; основное отличие этого прибора от разработанного ранее устройства ЗУК-1 состояло в возможности одновременного заряда до 8-ми аккумуляторов вместо четырех с любым их сочетанием.

В качестве индивидуальных дозиметров в эксплуатацию приняли комплекты КИД-6. Дозиметры работали на камерно-ионизационном принципе и являлись «слепыми»; полученная членом экипажа доза гамма-излучения определялась по количеству оставшегося заряда в дозиметре при его разряде специальным устройством после сдачи дозиметра.

Установка КУРК-1 и большинство автономных приборов (КРАБ-2, КРВП-2, КИД-6, ЗУК-2) впоследствии в течение длительного времени серийно производились на приборостроительном заводе в г. Минск. Серийное изготовление приборов КРАН-1 и КРБГ-1 было освоено на радиозаводе в г. Курск. Этот комплекс аппаратуры после успешной эксплуатации на флоте получил высокую оценку, коллектив разработчиков удостоили Государственной Премии СССР.

2 февраля 1966 г. атомные подводные лодки К-116 и К-133 покинули военноморскую базу Северного флота в Западной Лице и под флагом опытного подводника контр-адмирала А.И. Сорокина отправились в еще не виданный в истории отечественного ВМФ поход: субмаринам предстояло пройти без всплытия через Атлантику и Тихий океан на Камчатку, причем решение о подобном походе принималось на самом высоком государственном уровне.

Спустя 52 суток, пройдя под водой 21 тыс. морских миль, обе лодки благополучно прибыли на Камчатку. Без всплытия, они пересекли экватор, достигли антарктических широт, уклоняясь от айсбергов, миновали опасные проливы Дрейка и другие. Переход остался незамеченным противолодочными силами НАТО. За два месяца прошла полная проверка всех корабельных систем, а также велся строжайший медицинский контроль экипажей. Кроме командующего, звание Героя Советского Союза присвоили еще пяти офицерам-подводникам, включая двух командиров АПЛ и капитана 3 ранга С.П. Самсонова, отвечавшего за эксплуатацию дозиметрической и радиометрической аппаратуры поставленной нашим институтом, а весь личный состав кораблей наградили орденами и медалями.



Атомная подлодка К-116 проекта 675 с крылатыми ракетами

Отметили и наших сотрудников. В СНИИПе лауреатами стали А.П. Воронин, Н.А. Голованов. В.С. Жернов, В.В. Матвеев, В.А. Митюнин, Б.В. Немировский, Ю.П. Новоселов и Н.А. Шеховцов. Следует отметить, что опыт конструирования систем радиационного контроля для кораблей с ЯЭУ впоследствии использовали при создании аппаратуры аналогичного назначения для АЭС с ВВЭР, а разработанные для ВМФ автономные приборы инспекционного контроля стали штатными для всех отечественных АЭС.

Описанные выше приборы вскоре сменила аппаратура третьего поколения. Начиная с 1960-х годов установилась хорошая традиция: прежде чем приступить к созданию системы нового поколения сотрудникам СНИИП поручалось проведение научно-исследовательской работы по совершенствованию методик измерений радиационных параметров, уточнению диапазонов регистрируемых величин, выбору новой элементной базы и структурного построения аппаратурных средств с неременным условием повышения надежности их работы, увеличения ресурса и качественного улучшения показателей назначения.

Первой и наиболее крупной подобной работой стала НИР «Квадрат», выполненная в 1963 –1965 гг. под научным руководством В.В. Матвеева. В этой работе принял участие большой коллектив специалистов института: заместителями научного руководителя были В.С. Жернов и М.Н. Пчельников. Практически одновременно с этой работой проводились НИР «Лиственница» (разработчики Ю.А. Юзвук, С.М. Епифанов, Ю.П. Федоровский и др.) и «Катет» (разработчики И.Д. Мурин, В.М. Шатунов, М.А. Фомичев и др.).

Тем временем, наша аппаратура подтвердила высокую надежность и длительную автономную работу в ходе уникально кругосветного перехода АПЛ К-116 и К-133, начатого в ночь на 26 марта 1966 г. из военно-морской базы Западная Лица в Баренцевом море.

В то время впервые специалисты СНИИП до начала опытно-конструкторских работ выполнили исследования радиационных полей на действующих судах атомного флота при разных режимах работы ядерных силовых установок в реальных условиях эксплуатации, провели натурные эксперименты, отработали методики измерений для решения поставленных Заказчиком задач. В результате проведенных в процессе выполнения НИР исследований стало возможным создать аппаратуру специального назначения на качественно более высоком уровне. Были сформулированы общие подходы построения систем радиационного контроля, уточнены необходимые диапазоны измерений, определены спектральная чувствительность и типы контролируемых излучений.

В ходе обсуждения эскизного проекта, заказчики склонялись к мысли, что при централизованном построении системы можно будет использовать одни и те же устройства преобразования для разных целей, что удешевит изделие. Вполне вероятно, что так бы и получилось, но в то время полностью реализовать эту идею не удалось; выбрали для реализации смешанный вариант построения (ведущие специалисты КМК-1 А.Н. Климов, И.П. Бирюков, С.М. Епифанов, Б.А. Коротин, В.А. Митюнин и др.).

В этом комплексе предусмотрели два режима работы: дежурный и экспресс-анализа. В первом режиме использовался практически старый вариант «ниточной» структуры, осуществлявший помимо чисто дозиметрических функций решение задач технологического контроля: целостности оболочек ТВЭЛов, герметичность парогенераторов, протечки в коммуникациях. В состав комплекса КМК-1 вошли также датчики газового состава воздуха - газоанализаторы (общее число точек контроля могло достигать 128 по радиационным и 96 по нерадиационным параметрам).

Задачи противоатомной защиты, прогноза доз и времени возможного пребывания в помещениях корабля с учетом как внешнего, так и внутреннего облучения каждого члена экипажа решались в режиме экспресс-анализа с использованием централизованного запоминающего устройства. Впервые в аппаратуре подобного типа для регистрации информации был применен быстродействующий цифropечатающий аппарат.

Важным достоинством системы КМК-1 стала стандартизация выходных сигналов блоков детектирования по полярности, амплитуде, длительности и скорости счета, что дало возможность привязать любой блок детектирования к любому каналу регистрации. Это, в свою очередь, обеспечило возможность объектной ориентации самой системы к любому проекту кораблей с ЯЭУ. Время непрерывной работы комплекса удалось довести до 3000 часов, ресурс увеличен до 30 000 часов, а срок службы составлял 10 лет – отличные характеристики для середины 1970-х годов.

В полной мере результаты этих работ были использованы при создании аппаратурного комплекса третьего поколения «Ф-1», к которому относятся система «Кальмар» (комплекс многоцелевого контроля КМК-1) и набор стационарных и носимых приборов РЗС-01 «Котик» (получивший впоследствии наименование КРАБ-3), РКС-01 (переименованный позже в КРК-1), ЗУК-3, КИД-7, КДГ-1, КРА-1, КРБ-1 и КДН-2.

Техника развивалась, вошли в обиход програмно-управляемая микропроцессорная техника. На определенном этапе развития приборов и систем

контроля также стало ясно, что имеющиеся в наличии и выпускаемые серийно стационарных установок КДУС, КДУ, КМК и других, недостаточно для организации всеобъемлющего контроля, поскольку они не соответствовали возросшему уровню развития техники, не объединялись в единую систему.

Для повышения эффективности защиты экипажей кораблей от радиационного заражения, отравляющих веществ, других источников опасности необходим специальный комплекс средств радиохимической и биологической защиты, причем наиболее важным элементов этого комплекса являются средства радиационного и химического контроля. Он должен обеспечивать контроль условий обитаемости в подводных лодках и надводных кораблях, распознавать предаварийные состояния, сигнализировать специальным службам о неблагоприятном развитии ситуации и выдавать рекомендации командованию по предотвращению аварий или их локализации. При этом необходимо использовать новейшие достижения в области аппаратных средств и методов управления.

По результатам завершения в 1976 г. в Союзном НИИ Приборостроения, являвшемся в то время ведущей научной организацией в области ядерного приборостроения и радиационной безопасности, НИР «Пелагида», было определены основы создания корабельной системы для создаваемых и перспективных проектов кораблей ВМФ. По результатам проведенных исследований, в следующем году 1-й ЦНИИ Военного кораблестроения подготовил тактико-технические требования на создание будущей системы. В результате началась серия опытно-конструкторских работ (ОКР). В их ходе приняли участие многие предприятия и организации, а также серийные заводы.

В частности, в СНИИП разработали структуру и программно-аппаратную часть корабельной системы радиационно-газового контроля в рамках ОКР «Акула», которая получила название Информационно-управляющая система многоцелевого назначения (ИУС МН); инициатором ее создания стал начальник отдела № 104 А.Н. Климов, главный конструктор И.А. Махновский, после 1992 г. – В.В. Кашкин. В части средств контроля были созданы:

- новые блоки детектирования ионизирующих излучений (главный конструктор Б.А. Коротин);
- переносные дозиметры-радиометры, стационарные спектрометры и установки контроля загрязненности рук, обуви и спецодежды персонала (главный конструктор И.Д. Соколов);
- более совершенная корабельная дозиметрическая установка (КДУ-8) для надводных кораблей (главный конструктор И.П. Бирюков).

Система ИУС МН позволила сократить основную погрешность измерения, увеличить ресурс и объем контроля. Несомненно, использование 19 разных типов блоков детектирования (для всех известных видов излучения), создание собственного канала передачи данных, прогрессивный модульно-агрегатный принцип конструирования выгодно отличают данную систему.

Внедрение в опытную эксплуатацию ИУС МН позволило осуществлять измерение уровней ионизирующих излучений и концентрации химических компонентов в корабельных помещениях, на палубе, вести в автоматическом режиме непрерывный дистанционный контроль радиационной, химической, дозиметрической обстановки, а также противопожарного состояния всего объекта, контролировать индивидуальные дозы внешнего облучения для всего экипажа. Как показало время, система ИУС МН обеспечивает автоматическое отключение негерметичных секций парогенераторов,

управление техническими средствами в помещениях и работать в других режимах. При этом срок службы системы определен в 25 лет.

**СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ РАДИАЦИОННОГО
И ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ВМФ.
ВОСПОМИНАНИЯ ВИКТОРА ВЛАДИМИРОВИЧА КАШКИНА**

к.т.н. Кашкин В.В.

День 9 сентября 1968 г. я запомнил навсегда. Нас, 25 выпускников Московского авиационного приборостроительного техникума, направленных по распределению на работу в СНИИП, гостеприимно встретило руководство этой организации, причем пять ребят определили в отдел № 104, который тогда возглавлял Б.В. Немировский. Не успели мы расположиться на предложенных стульях, как в кабинет вошел высокий, интересный мужчина, осмотрел нас и задал необычный вопрос: «Кто здесь самый длинный?»

Я встал и меня он увел к себе в кабинет. По дороге сотрудник представился: Климов Аркадий Николаевич. Тогда он был ведущим инженером отдела, а впоследствии стал доктором технических наук, заместителем директора института. Я попал в его подразделение в лабораторию А.П. Воронина, начались трудовые будни. Нас сразу учили ответственно относиться к порученному делу. Помню, что начальники были людьми строгими, умели спросить по делу, особенно Немировский – разгильдяев он не терпел.

В лаборатории трудились около 30 человек среднего возраста, как помню, 27,5 лет. Очень много было молодежи, а тех, кому было за 40, за глаза звали «стариками». Достаточно много работало фронтовиков – эти люди пользовались у все остальных большим уважением и к работе относились ответственно, показывая пример. Хорошо помню Александра Петровича Воронина – прошедшего всю войну, награжденного многими орденами и медалями за ратные подвиги, а впоследствии ставшего лауреатом Государственной премии

Постепенно я вошел в курс дела, вжился в тематику, подружился с некоторыми ребятами. Потом выяснилось, что со СНИИПом оказалась связана вся моя трудовая жизнь – отсюда я ушел на пенсию в 2021 г. Наша специфика (лаборатории № 42, где я работал) – создание аппаратуры для военных, преимущественно в интересах ВМФ. В то время началась разработка КМК-1 – комплекса многоцелевого (радиационного и газового) контроля для атомных подводных лодок (АПЛ) и боевых кораблей, предусматривая возможность также поставить эту аппаратуру на военно-морские базы.

Я задумывался над расширением фронта работ. Например, корпусные реакторы типа ВВЭР для большинства наших АПЛ близки по конструкции к тем, что устанавливались на атомные станции и другие объекты атомной энергетики, для которых СНИИП поставлял самые разнообразные системы. Рассматривался вопрос о привлечении нашей организации к новой тематике – созданию, например, системы управления и защиты лодочного реактора типа ОК-650. Однако разработкой автоматики и различных систем контроля занималось и занимается НПО «Аврора», которое достигло значительных успехов не только в создании нового, но и при проведении сервисное обслуживание, систем управления ядерными энергетическими установками

Техника развивалась, а с ней и мы, молодые специалисты. В 1975 – 1977 гг. решался вопрос о переходе на новую элементную базу. В военной, как и гражданской

продукции шло освоение интегральных микросхем. Они становились программно-управляемыми, функциональные возможности резко повышались. То, что недавно решалось с помощью устройства, платы, теперь можно было выполнить одной микросхемой, настроив ее на решение именно нашей задачи. Было несколько интересных командировок в Минск, Воронеж, Новосибирск, Нарву, где и шло освоение новой техники.

Фронт работ ширился, не обо всех можно рассказать и сегодня ввиду закрытости ряда тем (например, о работах, проводимых под началом Ю.А. Юзвук). География мест пребывания сотрудников включала самые отдаленные уголки, многие моря и океаны, омывающие берега нашей огромной страны. Мои коллеги отправлялись в длительные командировки в Североморск, Владивосток, на Новую Землю, я им очень завидовал, поскольку те возвращались с рассказами об удивительной природе, невиданных у нас явлениях и встречал с интересными людьми. Но прошло совсем немного времени, как и мне пришлось поехать по Советскому Союзу и России, погружаться в глубины морей.

Не забыть дискуссии при создании комплекса многоцелевого контроля КМК-1. При проведении НИР шли жаркие споры о преимуществах и недостатках «ниточных» и централизованных систем, имеющих большое количество (более сотни) точек контроля как радиационных, так и нерадиационных параметров. В результате Заказчик, предполагая расширить объем контроля, настоял на эскизной проработке системы радиационного контроля нового поколения в двух структурных вариантах: «ниточном» (отдел 104, начальник А.Н. Климов) и централизованном (отдел 109, начальник С.С. Курочкин). Сотрудники этих отделов имели неплохие наработки для создания подобных систем, спроектированных в соответствии с вышеупомянутыми структурами. При обсуждении эскизного проекта Заказчик отдал предпочтение централизованной структуре системы, в которой одни и те же тракты и устройства для преобразования информации от различных ее источников используются последовательно во времени.

Технически это было вполне реализуемо, поскольку комплектующие изделия (интегральные микросхемы) в это время имели достаточно высокое быстродействие и расширение объема контроля не вызывало затруднений. Всю обработку информации (нормировку, масштабирование и пр.) осуществлял введенный в систему центральный вычислитель. На включении в объем контроля нерадиационных параметров настаивали в основном специалисты из головного института ВМФ не без основания считавшие наличие тесной взаимосвязи радиационных и нерадиационных факторов (газовый состав воздуха, температура, влажность) при их воздействии на человеческий организм.

Полностью отойти от малоперспективной «ниточной» структуры тогда не решились – был выбран смешанный ниточно-централизованный вариант. Предусматривались два режима работы: дежурный и экспресс-анализа. В первом режиме использовался практически старый вариант «ниточной» структуры, осуществлявший помимо чисто дозиметрических функций решение задач технологического контроля: целостности оболочек ТВЭЛов, герметичность парогенераторов, протечки в коммуникациях. В состав комплекса КМК-1 вошли также датчики газового состава воздуха – газоанализаторы (общее число точек контроля могло достигать 128 по радиационным и 96 по нерадиационным параметрам).

Хорошо запомнил период, когда началась передача разработанной коллективом СНИИП документации на серийные заводы (это приблизительно 1976 г.). Лично мне неоднократно приходилось бывать на заводе «Электрон» в Желтых Водах, Днепропетровской области. Строительство объектов завершилось в 1978 г., а

производственная деятельность началась в 1972 г. В свое время завод был гордостью области, всей отечественной промышленности. Здесь создали много рабочих мест для жителей города, а среди молодых специалистов-атомщиков трудились преимущественно выпускники Уральского политеха и Харьковского университета.

Город произвел очень приятное впечатление: уютный, утопал в зелени, а столько одновременно цветущих роз я раньше не видел. На улицах продавались и весьма недорого, клубника, вишня, груша... Отличными были и бытовые условия проживания: чистые комнаты с кухнями, где для нас, командировочных, имелись все удобства. Даже в тех случаях, когда приходилось задерживаться и возвращаться затемно, работал буфет, голодными мы не оставались. К сожалению, на сегодняшний день некогда известный завод превратился в руины, настоящие развалины.

Быть главным конструктором подводной лодки и пройти с ней все этапы от согласования технического задания до боевой эксплуатации, конечно, очень интересно и почетно. Безусловно, ИУС МН – одна из общих подсистем, однако пройти путь от идеи до реализации и внедрения, было непросто. К тому же, «радости скупые телеграммы» если и приходили, то очень редко, а отрицательные эмоции и стрессовые ситуации являлись постоянными спутниками жизни и деятельности главного конструктора. Там, где всё хорошо, то так и должно быть, и с этим к главному конструктору не обращаются. А вот с проблемами, нестыковками и упущениями случалось разбираться часто. «Не размещается, не хватает мощности или производительности, не удаётся достичь требуемой точности изготовления, перепутана схема соединений...», – такое приходилось слышать.

Часто военпреды были не согласны с принятыми техническими решениями, поставленная аппаратура требует доступа там, где проектом не предусмотрено, в чертежах обнаружены ошибки, завод сотворил брак и т.д. и т.п. Кстати, нельзя не отметить высокие профессиональные, техническую грамотность и высокие человеческие качества наших военпредов, прежде всего, капитана 1 ранга А.Н. Зязина, капитанов 2 ранга В.С. Жачкина и Ю.Д. Савеки. Вот такую кучу мусора главному конструктору приходится разгребать с утра до позднего вечера, а иногда и круглосуточно. А надо ещё и творчеством заниматься, за новой литературой следить (на то и главный конструктор), и делать лодку в целом и все ее составляющие такими, чтобы самому нравилась, являясь вершиной научно-технического прогресса.

Среди сторонних организаций, занимавшихся внедрением и эксплуатацией на объектах ВМФ наших приборов, с которыми мы тесно взаимодействовали, необходимо назвать заместителя, затем начальника Управления кораблестроения А.Ф. Шлемова. Блестяще образованный, тактически грамотный офицер (в последних числах 1999 г. ему присвоили звание контр-адмирала) умел создавать творческую атмосферу на совещаниях, где решались важные научно-технические вопросы. При доработке наших приборов, проведении различных (швартовых, бросковых, ходовых и иных) испытаний, при участии в комиссиях мы тесно взаимодействовали с сотрудниками 1-го ЦНИИ Министерства обороны В.П. Абакумовым, В.И. Жабруновым и др.

Ведущий специалист этого предприятия полковник В.А. Петров был председателем комиссии при проведении межведомственных испытаний ИУС МН; с ним, а также специалистами службы радиохимической и биологической защиты флота мы тесно сотрудничали много лет. Отлично понимаю, что без поддержки моряков не вышло бы в свет в 2003 г. совместное решение Российского агентства по судостроению, руководства ВМФ и Росатома об оснащении кораблей средствами газового и радиационного контроля

ИУС МН, согласно которому наша работа, а также проведение испытаний было профинансировано. Это было очень важно в условиях продолжавшегося распада хозяйственных связей, исключения из процесса ряда важных серийных заводов на Украине и в Прибалтике.

Изо всех незаурядных людей, с которыми приходилось встречаться и работать над решением тех или иных проблем, самое яркое впечатление осталось от общения с Генеральным конструктором ЦКБ «Рубин», создававшим атомные подводные лодки и подводные крейсера стратегического назначения самых различных проектов академиком С.Н. Ковалевым. По его проектам построили и спустили на воду 92 лодки. Лауреат Ленинской и двух Государственных премий, кавалер четырёх орденов Ленина и ордена Октябрьской Революции, Сергей Никитович.

Без этого человека нельзя представить ни отдельно взятый Северодвинск, ни российское военное кораблестроение в целом. Его знают в городе корабелов все. Легендарный генеральный конструктор, дважды Герой Социалистического Труда, ленинградец и петербуржец Сергей Ковалев провел в Северодвинске, наверное, самую яркую часть своей жизни. На главной российской военной верфи, «Севмаше», подсчитали, что он провел в командировках только в Северодвинске больше десяти лет. Еще несколько лет – на других верфях.

Даже в солидном возрасте, накануне своего 90-летия, С.Н. Ковалев одним из первых приходил на работу, в небольшой служебный кабинет, а уходил домой поздно, несчетное число раз выходил в море в ходе различных испытаний атомоходов, считая это дело важным и увлекательным, всегда учитывал в работе полученные на практике результаты походов, а приступая к очередному новому проекту смотрел далеко вперед, обычно на несколько лет, всегда видел перспективу.

Безусловно, это был патриот страны, флота. Слышал от него фразу, смысл которой – порох надо всегда держать сухим, что иногда игнорировали некоторые руководители нашего государства: «Не всегда нам дано предвидеть, куда нас "загогулина" истории занесет, и когда, где, в каких условиях наше оружие придется использовать. Поэтому оружие всегда должно быть самое лучшее, хотя бы на случай, который сегодня может показаться абсурдным, каким казался когда-то развал СССР».

Не менее важную мысль высказал Сергей Никитович относительно необходимости повышения стойкости, мужества, профессиональной подготовки людей, которым суждено использовать грозную новейшую технику океанских глубин: «Нам, как создателям глобального оружия огромной разрушительной силы, небезразлично, насколько крепки руки и головы, которые им распоряжаются. И как они способствуют сохранению и развитию этого оружия, которое сегодня и в обозримом будущем будет гарантом от разрывания глобальной катастрофы».

Фраза «если человек талантлив – талантлив во всем» в полной мере справедлива в отношении С.Н. Ковалева. Помимо инженерного и конструкторского таланта, он обладал яркими художественными способностями. Написанная им серия пейзажей принесла академику звание почетного члена Союза художников Санкт-Петербурга и действительного члена Петровской академии наук и искусств. Как дорогие реликвии я храню дома две книги с иллюстрациями живописных работ Ковалева с дарственными надписями.

Значительная часть и моей жизни была связана с Северодвинском, а точнее с Северным машиностроительным предприятием, где в июне 1976 г. заложили головную

лодку № 711 проекта 941 «Акула». Дело в том, что данную АПЛ с повышенным уровнем скрытности и последовавшую за ней серию руководство страны определило, как наш ответ на американскую программу «Трайидент» по развертыванию мощных подводных сил. Корабли СССР и США имели повышенную боевую эффективность, поскольку могли выполнять ракетные пуски из-под воды, находясь на глубинах до 30 м.

Как мне было известно, тактико-технические требования на «Акулу» выдали в конце 1972 г., а в конце 1970-х годов на Севмаше началось строительство грандиозного сборочного цеха, который, насколько знаю, до сих пор является самым большим крытым эллингом в мире. Новый цех понадобился для постройки гигантских тяжелых атомных подводных ракетных крейсеров проекта 941, по водоизмещению превышающих авианосец «Адмирал Горшков». Выполненный по проекту ЦКБ «Рубин» корабль спустили на воду 23 сентября 1980 г., а спустя 14 месяцев он вступил в строй – практически единственным на тот момент его конкурентом был американская АПЛ «Ohio».

Конструкция подводного ракетносца проекта 941 представляла собой компромисс между двумя взаимоисключающими требованиями, содержащимися в задании на его разработку: необходимость разместить ракетный комплекс с 20 твердотопливными огромными ракетами и обеспечить при этом минимальную осадку лодки, чтобы она могла базироваться на уже имеющихся «точках». Поэтому проектировщики «Рубина» выполнили конструкцию по принципу катамарана, разместив два прочных титановых корпуса параллельно друг другу, а между ними, в передней части, разместили отсек ракетного вооружения.

На АПЛ ядерная энергетическая установка была спроектирована по блочному принципу и включала два водо-водяных реактора ОК-650, по 190 МВт каждый, и две паротурбинные установки. Выполненные в виде отдельных модулей блоки размещались по одному в обоих прочных корпусах – такое решение позволило повысить живучесть подводного ракетносца и сократить опасность пожара на борту. Впервые побывав на АПЛ головного корабля «Дмитрий Донской» в конце 1981 г., когда проходили заводские испытания перед вступлением корабля в строй.

Я был приятно удивлен комфортом, который предоставлялся экипажу. Так, офицеры и мы, представители различных научно-технических организаций, поставивших флоту свою аппаратуру и осуществлявшие шефский надзор, размещались в 2-х или 4-местных кубриках; имелся салон отдыха, спортивный зал, сауна и пр. Конечно, ощущения в процессе первого выхода в Белое море ни с чем не сравнить: огромная машина почти бесшумно со скоростью около 22 узлов уходила под крутым углом на глубину до 180 – 200 м. Всего же я пробыл на АПЛ «Дмитрий Донской» около 60 суток, причем самый длительный мой поход продолжался две недели. Конечно, больше всего работы было после модернизации нашей лодки № 711, когда одновременно с установкой новых баллистических ракет, на ней смонтировали опытную систему ИУС МН.