

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ ОБСУЖДЕНИЕ НАУЧНОГО ДОКЛАДА

© 2020 г. М. Е. Хализева (составитель)

Журнал “Вестник РАН”, Москва, Россия

E-mail: kordasonorus@gmail.com

Поступила в редакцию 04.03.2020 г.

После доработки 10.03.2020 г.

Принята к публикации 24.04.2020 г.

В статье освещается широкий круг вопросов, касающихся безопасности атомной энергетики, поднятых в выступлениях участников заседания президиума РАН 25 февраля 2020 г. Речь идёт об одной из главных проблем отрасли – захоронении радиоактивных отходов и оптимизации этого процесса, перспективных технологиях, связанных с замкнутым топливным циклом, развитием атомно-водородной энергетики, о радиологической защите населения и персонала ядерных объектов, кооперации отраслевых и академических институтов в рамках этой тематики. Общий вывод сводится к тому, что атомной отраслью создан основательный научный и кадровый задел, который кардинально решает проблему утилизации радиоактивных отходов и обеспечивает долгосрочное мировое лидерство РФ в области атомной энергетики.

Ключевые слова: обращение с радиоактивными отходами, проект “Прорыв”, замкнутый ядерный топливный цикл, атомно-водородная энергетика, высокотемпературный ядерный реактор с газовым охлаждением, радиологическая защита.

DOI: 10.31857/S0869587320070063

Обсуждение доклада академика РАН Л.А. Большого, где были затронуты важнейшие аспекты безопасности атомной энергетики, началось, пожалуй, с самой актуальной для отрасли темы – захоронения радиоактивных отходов. Президент РАН академик А.М. Сергеев, подчеркнув исключительно важную роль ИБРАЭ РАН в обосновании безопасности и перспектив развития ядерной энергетики, его плодотворное сотрудничество с Госкорпорацией “Росатом”, поинтересовался у докладчика, сколько в мире накоплено радиоактивных отходов и как решается проблема с их обращением у нас и за рубежом.

По состоянию на 2019 г. в мире насчитывается свыше 450 ядерных энергетических реакторов, работающих в 31 стране. Каждая из этих стран имеет свои запасы отработанного ядерного топлива (ОЯТ). По некоторым экспертным данным, в мире накопилось примерно 400 тыс. т ОЯТ, в российских хранилищах – до 20 тыс. т. Основная тенденция в области обращения с облучённым топливом – захоронение, сообщил Л.А. Большов. Это мировой тренд. Отличие состоит в том, как захоранивать – с переработкой или без переработки.

В большинстве государств, в том числе в США, Канаде, Финляндии, Швеции, Швейцарии, ядерное топливо, отработавшее расчётный срок в энергетическом реакторе, рассматривают как радиоактивные отходы (РАО) и без переработки отправляют в хранилища или вывозят за рубеж. В России, Франции, Великобритании принята стратегия переработки – там воспринимают облучённое ядерное топливо как ценный материал, пригодный для дальнейшего использования в промышленности.

В нашей стране его доставляют на радиохимический завод РТ-1 Производственного объединения “Маяк” (Челябинская область) и Изотопно-химический завод Горно-химического комбината (Красноярский край), где создан полноценный технологический комплекс для цивилизованного обращения с ядерным топливом. На предприятии действуют построенное в 1985 г. “мокрое” (водоохлаждаемое) хранилище и сухое, введённое в строй в 2011–2015 гг.

Кроме того, Госкорпорация “Росатом” реализует экспериментальный проект по созданию под Железногорском (Красноярский край) в Нижне-

канском скальном массиве на глубине 500 м уникальной подземной исследовательской лаборатории для изучения возможности захоронения в архейских гнейсах высокоактивных РАО. Решение о создании здесь пункта, заявил Леонид Александрович, будет приниматься только после многолетних исследований и получения положительных результатов, подтверждающих безопасность захоронения радиоактивных отходов.

Россия наряду с другими европейскими странами, например, Францией, Германией, Великобританией, далеко продвинулась в освоении технологий экологически безопасного обращения с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами и сейчас стремится к тому, чтобы в перспективе полностью замкнуть топливный цикл. Эти идеи заложены в проекте с говорящим названием “Прорыв”, который ещё в 2010 г. был включён в федеральную целевую программу “Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 года”. Его реализация откроет дорогу к созданию энергетических технологий нового поколения на базе замкнутого топливного цикла с использованием реакторов на быстрых нейтронах. О некоторых особенностях проекта “Прорыв” и достижениях прикладной науки в этой области рассказал на заседании президиума РАН научный руководитель Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники им. Н.А. Доллежала доктор технических наук **Е.О. Адамов**.

За непривычные для нашего времени короткие сроки, сообщил он, были экспериментально обоснованы все ключевые положения проекта, в том числе естественная безопасность, исключающая возможность тяжёлых аварий, и радиационно-эквивалентное (равновесное) обращение с РАО, при котором через несколько сотен лет на хранение в Землю будут возвращаться отходы с той же радиоактивностью, что и извлечённое из недр урановое сырьё. Такую возможность создают ядерные реакторы на быстрых нейтронах. Их можно использовать не только для получения энергии, но и пережигания в нейтронном потоке минорных актинидов – долгоживущих изотопов нептуния, америция и кюрия, нарабатываемых в реакторах на тепловых нейтронах, которые вносят наибольший вклад в радиоактивность отходов.

Ещё недавно считалось, что добиться радиационного равновесия с помощью трансмутации минорных актинидов можно примерно за 300 лет. В 2019 г. заместитель директора по научной работе Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба член-корреспондент РАН В.К. Иванов, который занимается радиационной эпидемиологией и радиологической защитой,

сделал выдающееся, с точки зрения Е.О. Адамова, расчётное открытие. Он установил, что баланс, или онкоравновесие, то есть вероятность раковых заболеваний от радиоактивных отходов и природного уранового сырья, достигается быстрее – в пределах столетия. Это означает, что технология замыкания топливного цикла позволит сократить объёмы наиболее опасных радиоактивных отходов и окончательно решить проблему ОЯТ.

Один из ключевых и продвинутых на сегодня элементов проекта “Прорыв” – разработка смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП) взамен оксидного, которое использует вся ядерная энергетика мира. СНУП – наиболее оптимальное плотное топливо для реакторов на быстрых нейтронах. Как отметил научный руководитель проектного направления “Прорыв”, учёные “Росатома” уже имеют экспериментальные результаты по работоспособности смешанного топлива в ядерных реакторах до выгорания 8.2%. Этот уровень вполне достаточен для того, чтобы начать эксплуатацию опытно-демонстрационного энергоблока мощностью 300 МВт с инновационным реактором на быстрых нейтронах “БРЕСТ-ОД-300”, который будет построен на площадке Сибирского химического комбината в г. Северск Томской области в рамках проекта “Прорыв”.

ИБРАЭ РАН, по образному выражению Е.О. Адамова, “штучно собравший в своём институте цвет российской школы программистов по тематике”, создал систему кодов нового поколения для реакторов со свинцовым, натриевым и свинцово-висмутовым теплоносителем. Это цифровые модели, которые описывают физические процессы, протекающие на АЭС в самых разных условиях, в том числе на завершающих стадиях топливного цикла. Евгений Олегович особо подчеркнул, что нормы и правила, стандарты, без которых Ростехнадзор не может принимать решение по сооружению энергоблока, разработаны в содружестве с академическими специалистами.

В 2019 г. Госкорпорация “Росатом” обратилась к руководству РАН с просьбой провести экспертизу проекта “Прорыв”. Перед экспертами Российской академии наук – ведущими специалистами страны, не аффилированными с проектом, была поставлена задача оценить его соответствие современному уровню науки и техники, и в первую очередь – требованиям безопасности, предъявляемым к атомным станциям. Учёные рассмотрели более 50 тыс. страниц проектных документов и дополнительно запрошенных отчётов о НИОКР и представили своё заключение на заседании Научно-технического совета Госкорпорации “Росатом”. В экспертном заключении от-

мечалось, что технический проект реакторной установки “БРЕСТ-ОД-300” учитывает как мировой опыт эксплуатации ядерных реакторов с натриевым теплоносителем, так и применение ядерных реакторов с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем на отечественных атомных подводных лодках. При этом реактор “БРЕСТ” представляет собой принципиально новую ядерную технологию, реализация которой может обеспечить долгосрочное мировое лидерство РФ в области атомной энергетики.

В связи с опережающим выполнением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, констатировал Е.О. Адамов, федеральная целевая программа в 2019 г. прекратила своё существование, а задачи практической коммерциализации проекта были консолидированы в проекте комплексной программы “Атомная наука, техника и технологии”, предусматривающей развитие двухкомпонентной ядерной энергетики при замкнутом топливном цикле и промышленное внедрение конкурентоспособных реакторов на быстрых нейтронах. Их предполагается эксплуатировать в тандеме с традиционными реакторами на тепловых нейтронах.

Проект “Прорыв”, по словам Адамова, решает основные накопившиеся проблемы ядерной энергетики, связанные с безопасностью АЭС, обращением с облучённым ядерным топливом и радиоактивными отходами, технологически укрепляет режим нераспространения ядерного оружия и делящихся материалов. Ядерная энергетика получит практически неограниченные сырьевые ресурсы, используя весь энергетический потенциал уранового сырья, а не 0.7% от него, как в современных АЭС. Кроме того, крупномасштабная неуглеродная ядерная энергетика кардинально решает проблемы накопления CO₂, независимо от того, признаём мы антропогенное происхождение современных климатических изменений или нет.

Научный руководитель проектного направления “Прорыв” отметил, что работа идёт в тесной кооперации отраслевых НИИ и КБ с Национальным исследовательским центром “Курчатовский институт” и академическими институтами: ИБРАЭ РАН, Объединённым институтом высоких температур РАН, институтами СО РАН, Нижегородским государственным университетом им. Н.И. Лобачевского, Институтом высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Томским государственным университетом, Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова, Национальным исследовательским ядерным университетом “МИФИ”, Российским химико-технологическим университетом.

Участников заседания президиума РАН интесировали сроки реализации “Прорыва”. “Первый

этап проекта завершится в текущем десятилетии: производство плотного топлива начнёт функционировать уже через два года, — сказал Евгений Олегович. — Опытно-демонстрационный реактор на быстрых нейтронах “БРЕСТ” войдёт в строй в 2026 г., а промышленная АЭС с реактором на быстрых нейтронах появится на рубеже текущего и следующего десятилетий“.

Госкорпорация “Росатом” рассчитывает и впредь на тесное взаимодействие с РАН, университетами, НИЦ “Курчатовский институт” в решении задач энергетической безопасности не только нашей страны, но и всего мира. Не следует забывать, заметил оратор, что “Росатом” — крупнейший экспортёр высокотехнологичной продукции, более чем в 2 раза превышающей экспорт вооружения.

Технологии закрытого топливного цикла осваивают и в других странах мира. Среди них Евгений Олегович выделил Китай. Эта страна удивляет всех высокими темпами развития ядерной энергетики. Несмотря на то, что КНР начала реализацию мирной атомной программы позже СССР, она уже обогнала Россию по числу введённых в строй энергоблоков. По данным Всемирной ядерной ассоциации на сентябрь 2019 г., на материковой части КНР действует 48 промышленных ядерных реакторов, размещённых на 17 АЭС суммарной мощностью 45.6 ГВт, ещё 13 блоков находятся в стадии строительства. “Раньше мы за пятилетку не успевали выполнить то, что планировалось, — сокрушался Е.О. Адамов, — а китайцы успевают ввести большее количество блоков, чем предусмотрено пятилетним планом”. Чтобы обеспечить устойчивое развитие атомной промышленности страны, к 2030 г. Поднебесная планирует ввести в строй до 110 ядерных реакторов, которые будут производить от 120 до 150 ГВт электроэнергии. К концу этого столетия, согласно долгосрочной программе, разработанной Китайским институтом атомной энергии (СИАЕ), на атомных станциях будет производиться свыше 500 ГВт электроэнергии, что увеличит долю атомной энергетики страны до 50%.

По словам Е.О. Адамова, сегодняшние типы реакторов (наиболее распространённый среди них — водо-водяной CPR-1000, представляющий собой китайский клон французского проекта М310) КНР намерена использовать до 2030 г., а с 2030 по 2050 г. будет развивать ядерную энергетику на быстрых реакторах. В этой области Китай сотрудничает с Россией. В конце 2014 г. в КНР осуществили пуск экспериментального реактора на быстрых нейтронах CEFR, в планах — сооружение демонстрационного реактора CFR-600 установленной электрической мощностью 600 МВт с использованием российского оборудования. Одним словом, реакторы на быстрых ней-

тронах должны прочно занять свою нишу в атомной энергетике Поднебесной.

Другие страны (Франция, Германия, Великобритания) тоже реализуют варианты замкнутого ядерного топливного цикла, но не столь успешно, как Китай и Россия. Кстати, только наша страна обладает технологией получения оптимального для быстрых реакторов смешанного нитридного уран-плутониевого топлива, разработанного учёными Высотехнологического научно-исследовательского института неорганических материалов им. академика А.А. Бочвара и специалистами Сибирского химического комбината. Здесь Россия существенно опережает своих конкурентов, заметил Е.О. Адамов.

На вопрос «Какая ситуация сейчас в отрасли с кадрами и нет ли проблем с их старением?» Евгений Олегович ответил оптимистично: «Мы прошли тот период, когда специалисты приходили к нам, а потом растворялись в банках, газовых и прочих богатых компаниях. Сейчас среди работодателей “Росатом” – в первой тройке». Судя по опыту общения со студенческой молодёжью Томска, Свердловска, Москвы и педагогической практике в МИФИ, добавил он, ситуация сейчас заметно меняется: происходит возврат интереса к технике вообще и к ядерной в частности. Как и в прежние годы, отрасль хорошо подпитывается специалистами из МИФИ и МГУ. «Нам нужен штучный отбор, и наши вузы его обеспечивают», – заключил Е.О. Адамов.

Конечно, хорошо, что молодёжь относится к атомной энергетике позитивно, но в целом отношение к ней в обществе, в том числе в академической среде, разное, констатировал научный руководитель Всероссийского НИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина, председатель НТС Госкорпорации “Росатом” академик РАН **Г.Н. Рыкованов**. В этом плане бесценен сам факт создания в 1988 г. в структуре Российской академии наук ИБРАЭ РАН с задачей проведения независимой экспертизы безопасности атомной энергетике. Причём, что особенно важно, для этих целей институт использует собственные разработки. Георгий Николаевич привёл в пример работу ИБРАЭ по изучению воздействия систем теплоснабжения, промышленных предприятий, автомобильного транспорта на городскую среду. Оказалось, что их вклад в загрязнение на 5–6 порядков больше по сравнению с любым объектом атомной энергетике, функционирующим в штатном режиме. «Представьте, – резюмировал он, – если бы такую информацию распространял “Росатом”!».

Далее Г.Н. Рыкованов обратил внимание на важность проблемы, связанной с захоронением отходов ядерного топлива при масштабном развитии атомной энергетике, о которой речь шла в

комментариях Л.А. Большого. Есть разные точки зрения на этот счёт, в том числе в Госкорпорации “Росатом”. Отголоски дискуссии на эту тему просматривались в двух предыдущих выступлениях. Одно направление – захоронение ОЯТ с переработкой облучённого ядерного топлива, о чём упомянул Л.А. Большов, второе – трансмутация минорных долгоживущих актинидов, то есть выжигание топлива в быстрых реакторах без его переработки, о чём говорил Е.О. Адамов. “Росатом” ведёт работы в обоих направлениях. Любопытно, подметил Г.Н. Рыкованов, что у ИБРАЭ РАН более консервативная и прагматичная позиция, совпадающая с мировым трендом: переработка отходов ядерного топлива и его последующее захоронение рассматриваются как достаточные для решения проблемы обращения с ОЯТ. По его мнению, весьма продуктивной представляется работа ИБРАЭ РАН по созданию пункта глубокого захоронения радиоактивных отходов в Нижнеканском скальном массиве. Институт в кооперации с партнёрами из других организаций разработал программу первых трёх лет исследований, чтобы доказать надёжность изоляции высокоактивных РАО в скальных породах.

Директор направления научно-технических исследований и разработок Госкорпорации “Росатом” доктор физико-математических наук **В.И. Ильгисонис** добавил к выступлениям коллег несколько штрихов, связанных с перспективами развития ядерной энергетике в России.

Есть ли основания считать, что в будущем доля атомной энергетике может превысить 10%, которые она сейчас занимает в мировом производстве электроэнергии? Да, есть, и этих оснований, по словам Виктора Игоревича, немного. Чтобы превзойти 10%-ную долю, следует обеспечить выполнение двух условий. Во-первых, повысить эффективность ядерной энергетике, то есть сделать её более дешёвой, более выгодной потребителю – именно с этой точки зрения оценивают любой продукт. Во-вторых, улучшить её экологическую привлекательность. Обеспечение безопасности в случае крупных аварий плюс минимизация угрозы накопления радиоактивных отходов, которые образуются в результате эксплуатации атомных станций, – два кита, на которых может базироваться экологическая привлекательность ядерной энергетике.

В.И. Ильгисонис обозначил несколько технологических направлений развития атомной энергетике, которые удовлетворяют перечисленным выше требованиям. Они включены в разработанный Госкорпорацией “Росатом” проект комплексной программы “Атомная наука, техника и технологии”, находящийся сейчас на рассмотрении Правительства РФ. Об одном из них – развитии двухкомпонентной ядерно-энергетической

системы с замкнутым топливным циклом – ярко рассказал Е.О. Адамов. Но в комплексной программе “Росатома” рассматриваются и другие технологии, которые в 1960-е годы были в фокусе внимания наших учёных, но при отсутствии соответствующей научно-технической базы не вышли на экономический уровень.

В первую очередь к ним относится водородная энергетика. Сейчас эта тема достаточно активно муссируется в научных и общественных кругах. Япония приняла концепцию развития водородной энергетике до 2050 г. Вслед идёт Корея. Европейцы тоже готовы осваивать технологии получения водорода. “Росатом” предлагает развивать водородную энергетiku на базе высокотемпературного ядерного реактора с газовым охлаждением (ВТГР), концепция которого для производства водорода в нашей стране давно и хорошо проработана.

Ещё одно перспективное направление, на которое указал В.И. Ильгисонис, – жидкосолевой реактор (ЖСР). Проектирование исследовательского ЖСР уже идёт. До конца 2024 г. должна быть получена лицензия на его размещение на площадке железнорского Горно-химического комбината, а в 2030–2031 гг. начнётся строительство. Подготовлен также эскизный проект промышленного ЖСР. Как утверждают специалисты, основная его функция – дожигание актинидов. Кроме того, такие реакторы одновременно с трансмутацией долгоживущих радиоактивных отходов могут производить полезные изотопы, вырабатывать электроэнергию и тепло для функционирования технологического комплекса по замыканию ядерного топливного цикла и при этом основную часть мощности передавать в Единую энергосистему. Жидкосолевые реакторы повысят конкурентоспособность атомной энергетики.

«Почему эти проекты, заложенные в комплексную программу “Атомная наука, техника и технологии”, не были реализованы в 1960-е годы? – задался вопросом Виктор Игоревич. – В значительной степени по причине отсутствия радиационно-защитных и коррозионностойких материалов, способных выдерживать высокие температуры». Сегодня у “Росатома” несравнимо больше возможностей для осуществления прорывных исследовательских работ в области современного материаловедения. «Но нашим предприятиям, – попытожил он, – необходимо плотное взаимодействие с академическими институтами, которые могли бы внести свой вклад в разработку новых конструкционных материалов и осуществление комплексной программы “Росатома”».

Поскольку Виктор Игоревич ничего не сказал о развитии термоядерной энергетики как пер-

спективного направления госкорпорации, последовал вопрос на эту тему: «Фигурирует ли термоядерная энергетика в стратегических планах “Росатома” на XXI в.?». «В стратегических планах “Росатома” термояд как энергетика не фигурирует, – ответил он, – но как научно-технологическое направление учитывается и рассматривается. Более того, термоядерные исследования включены в комплексную программу. Осуществлять их на коммерческой основе невозможно, так как они самые затратные с экономической точки зрения и самые объёмные по комплексу научных и технологических задач».

Кроме того, аудиторию интересовали перспективы использования ядерных технологий в космосе. С точки зрения В.И. Ильгисониса, для освоения космического пространства сейчас важна не столько энергетическая установка, сколько создание эффективного двигателя, который позволит обеспечить в том числе дальние космические перелёты и, что даже более существенно, автономное длительное форсирование на околоземной орбите с возможностью изменения орбит. Здесь, по всей видимости, целесообразны проекты мощных эффективных плазменных двигателей с высоким удельным импульсом.

Взявший слово академик РАН **Н.Н. Пономарёв-Степной** развил тему приоритетности атомно-водородной энергетики, которую пунктирно обозначил В.И. Ильгисонис. Атомно-водородная энергетика давно входит в сферу научных интересов Николая Николаевича, поэтому он как никто знает, почему необходимо сконцентрироваться на производстве водорода и какие выгоды это может принести в перспективе.

Ещё в начале 1970-х годов по инициативе академика А.П. Александрова, директора Института атомной энергии им. И.В. Курчатова (ныне – Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”), будущего президента Академии наук СССР, в нашей стране была сформулирована и утверждена концепция “Атомно-водородная энергетика”, нацеленная на крупномасштабное производство водорода с помощью ядерных источников энергии и его широкое применение в промышленности, на транспорте и в других отраслях. Работы в рамках этой концепции осуществлял Курчатовский институт в кооперации с Опытным конструкторским бюро машиностроения им. И.И. Африкантова (ОКБМ, г. Нижний Новгород) и другими исследовательскими, конструкторскими, технологическими и промышленными предприятиями Министерства среднего машиностроения СССР, Министерств общего машиностроения СССР, энергетики, химической промышленности, чёрной металлургии, авиационной промышленности и АН СССР.

В результате научных изысканий было предложено построить пять атомных энерготехнологических станций, в том числе для производства водорода вне электрического применения. В свет вышли постановления Правительства СССР, но реализовать планы не удалось. Шёл 1987 год...

Сегодня, по словам Н.Н. Пономарёва-Степного, наблюдается новый всплеск интереса к масштабной водородной энергетике, в значительной мере связанный с развитием автомобилестроения на основе водородного топлива. И действительно, водород имеет много преимуществ в качестве топлива для транспортных средств. Однако крупнейшими его потребителями являются химическая и нефтеперерабатывающая промышленность. Сегодня потребление водорода в мире составляет около 75 млн т. Согласно зарубежным исследованиям, к середине XXI в. потребность в водороде будет выражаться трёхзначной цифрой — до 500 млн т в год. Это примерно одна пятая часть всего мирового энергетического баланса.

Существующие в мире технологии получения водорода в промышленном масштабе не удовлетворяют экологическим требованиям: при паровой конверсии, когда водяной пар при температуре 700–1000°C смешивают с метаном под давлением в присутствии катализатора, происходит значительный выброс продуктов сгорания. Как минимизировать эти выбросы? Одна из возможностей, считает Н.Н. Пономарёв-Степной, — так называемое термохимическое разложение воды при использовании энергии высокотемпературного ядерного реактора с газовым охлаждением.

Водородная энергетика на базе АЭС стала одним из направлений предложенной “Росатомом” комплексной программы “Атомная наука, техника и технологии”. Это экологически чистое производство водорода, которое, по словам Николая Николаевича, позволит декарбонизировать промышленность, снизить выбросы парниковых газов, обеспечить устойчивое развитие атомной энергетике и её энергетическую безопасность на долгосрочную перспективу.

Направление высокотемпературных реакторов с гелиевым теплоносителем, заметил Н.Н. Пономарёв-Степной, начатое в 1960-х годах, имеет солидный научный задел. В России разработаны ключевые технологии ВТГР: топливо, физика реактора, конструкция модульного реактора, высокотемпературные парогенераторы и теплообменники, циркуляторы с гелиевым теплоносителем, системы пассивной безопасности, расхолаживания, преобразования энергии, модели и коды. При этом сохранилась и экспериментальная база — стенды и установки — в различных институтах: в НИЦ “Курчатовский институт”, ОКБМ, Научно-производственном объединении “Луч”. Иными словами, уровень готовности технологии

позволяет в короткие сроки создать в нашей стране атомную энерготехнологическую станцию с ВТГР.

Кстати, эти технологии активно продвигаются за рубежом, в частности в Китае. «В начале 2000-х годов мы читали китайцам лекции о ВТГР, — сказал Н.Н. Пономарёв-Степной. — А в прошлом году посетили площадку АЭС “Шидаовань”, где уже построены два высокотемпературных газоохлаждаемых реактора». Китайские специалисты, как сообщает наша отраслевая пресса, полностью освоили проектирование и производство парогенераторов для них. На данной станции, расположенной в Восточном Китае, в провинции Шаньдунь, парогенераторы двух реакторов НТР-РМ будут подавать пар на одну турбину мощностью 210 МВт. В первом контуре теплоносителем служит гелий, нагреваемый до 750°C, в качестве топливных элементов используются шаровые твэлы с сердцевиной из оксида урана, снаружи покрытые оболочкой из графита, выполняющей роль замедлителя нейтронов. Предполагается, что АЭС “Шидаовань” начнёт давать ток уже в нынешнем году. В России решений по созданию станций с таким типом реактора пока не принято, с сожалением добавил Пономарёв-Степной. Только к 2024 г., согласно комплексной программе “Атомная наука, техника и технологии”, должна быть разработана проектная документация станции с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором. Строительство реактора и его пуск могут быть осуществлены к 2028 г.

В числе неотложных задач Н.Н. Пономарёв-Степной назвал обоснование безопасности атомно-водородной энергетике. Комплексной программой, о которой много говорилось на заседании президиума РАН, предусмотрен специальный раздел на эту тему. “В работах по оценке безопасности в качестве головного и координирующего центра определён Всероссийский НИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина, — сообщил он. — Но кроме отраслевых НИИ, в них, конечно, должны участвовать институты Академии наук и университеты”.

Пономарёв-Степной считает также необходимым детально рассмотреть программу развития атомно-водородной энергетике в стране на уровне РАН. Глава академии А.М. Сергеев поддержал коллегу: “Это хорошее предложение. Надо устроить по теме специальное заседание президиума РАН. Через несколько лет водородная энергетика будет занимать значительную часть мировой экономики, и важно определить роль нашей страны в этом процессе”.

Для успешной работы ядерно-энергетического комплекса необходимы не только серьёзные научные, технологические и инженерные решения, но и создание системы радиационной без-

опасности для персонала, работающего на объектах отрасли, населения и окружающей среды. Председатель Российской научной комиссии по радиологической защите при Отделении медицинских наук РАН, заместитель директора по научной работе Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба член-корреспондент РАН **В.К. Иванов** подробно рассказал о том, какие задачи в этой области решают специализированные международные организации и наша научная комиссия, действующая в тесной кооперации с зарубежными коллегами. Виктор Константинович более 25 лет работает в составе делегации РФ в Научном комитете ООН по действию атомной радиации, который был создан в 1956 г. после испытаний водородной бомбы.

Радиационная безопасность, объяснил он, включает три основных направления: физическая защита (охрана объектов), технологическая защита (нормальные условия и аварийная ситуация) и радиологическая защита (население, персонал). На международном уровне проблема радиологической защиты рассматривается тремя авторитетными организациями – Научным комитетом ООН по действию атомной радиации (принятие заключений), Международной комиссией по радиационной защите (принятие рекомендаций) и Международным агентством по атомной энергии (принятие стандартов). В конце 1950-х годов в ведущих странах мира были созданы национальные комиссии по радиологической защите. Около 50 лет Российскую научную комиссию по радиологической защите при РАН возглавляли наши выдающиеся учёные – академики Л.А. Ильин и А.Ф. Цыб.

Главное требование современной радиологической защиты, включённое в Новые стандарты радиационной безопасности МАГАТЭ, звучит так: “Правительство или регулирующий орган устанавливают или утверждают граничные значения дозы и риска”. Впервые зафиксировано, что правительство должно обозначать предельные значения не только дозы облучения, но и величины радиологического риска.

Откуда берутся эти данные? Прежде всего из когорты хibaкуси – лиц, переживших атомную бомбардировку 1945 г. в Хиросиме и Нагасаки. Регистр ведётся более 60 лет, наблюдаются 92 тыс. человек с точки зрения частоты онкозаболеваемости. По всем членам когорты установлены дозы облучения. Общие затраты на ведение регистра в Японии превысили 3.5 млрд долл.

Виктор Константинович сообщил, что в России создан Национальный радиационно-эпидемиологический чернобыльский регистр, который функционирует на основе Федерального закона от 19 декабря 2012 г. № 329-ФЗ. “Ведение Национального радиационно-эпидемиологического ре-

гистра, – говорится в документе, – осуществляется в целях использования результатов специальных медицинских наблюдений за состоянием здоровья лиц... подвергшихся радиационному воздействию... для оказания им адресной медицинской помощи, а также анализа текущих и отдалённых медицинских радиологических последствий”. В 2018 г. Научный комитет ООН по действию атомной радиации выпустил “Белую книгу” с итогами эпидемиологических исследований по частоте заболеваемости раком щитовидной железы после чернобыльской катастрофы. В ней широко использованы данные Национального радиационно-эпидемиологического регистра России, где показано, что по состоянию на 1986 г. к группе риска по этой патологии относилось только детское население юго-западных районов Брянской области. По просьбе МАГАТЭ Национальный радиационно-эпидемиологический регистр России сделал также прогноз радиологических последствий аварии на японской АЭС “Фукусима-1”, который был опубликован в Вене.

В базовом документе МАГАТЭ по радиационной безопасности, напомнил В.К. Иванов, рассмотрены три категории облучения: население, персонал и пациенты, получающие облучение в медицинских целях. При этом численное значение радиологического канцерогенного риска по рекомендациям Международной комиссии по радиационной защите должно определяться с учётом ряда основных индивидуальных характеристик: пол, возраст, доза внешнего и внутреннего облучения и др. Для решения этих задач Российская научная комиссия по радиологической защите при РАН активно сотрудничает с Госкорпорацией “Росатом”.

Виктор Константинович остановился на двух главных результатах работы комиссии, нашедших отражение в монографиях. Первый – создание автоматизированного рабочего места по оценке индивидуальных рисков (АРМИР). Данные системы АРМИР ежегодно публикуются в годовых отчётах Госкорпорации “Росатом”. Согласно последним оценкам индивидуальных радиационных рисков, проведённым для 64 643 человек, из отраслевого персонала группы А к группе повышенного риска отнесено только 696 человек, то есть 1.08% персонала. Вторая важная работа выполнена в рамках проекта “Прорыв”, имеющего первостепенное международное значение. Как сообщил В.К. Иванов, было установлено, что эффект радиологической эквивалентности, когда выравнивается токсичность радиоактивных отходов и природного урана, при замкнутом топливном цикле на базе быстрых реакторов достигается через 90 лет выдержки РАО. Для сравнения: при использовании тепловых реакторов аналогичный эффект наступает только через 25 тыс. лет после выдержки РАО. Это означает, что замкнутый топ-

ливный цикл окончательно решает одну из главных проблем современной атомной энергетики — проблему радиоактивных отходов и обращения с ними.

В 2020 г. МАГАТЭ планирует опубликовать специальный технический документ с описанием современной технологии оценки радиологических рисков (предыдущий по этой проблеме был издан 25 лет назад). В.К. Иванов подчеркнул, что половину авторского коллектива составляют члены Российской научной комиссии по радиологической защите при РАН.

Оратор также обратил внимание на эффективность работы ИБРАЭ РАН, в 2018 г. отметившего 30-летие со дня образования, в области радиационной безопасности. «Тридцать лет — сравнительно небольшой срок, — заметил Виктор Константинович. — Вместе с тем под руководством академика РАН Л.А. Большова решён ряд важнейших вопросов, связанных с изучением последствий аварий на Чернобыльской АЭС и атомной станции “Фукусима-1”, оптимизацией захоронения РАО, разработкой компьютерных кодов нового поколения. Одно пожелание: усилить публикационную активность на международном уровне».

“Безопасность атомной энергетики связана с тем простым фактом, что концентрация энергии в ядерном топливе на семь порядков выше, чем в органическом топливе, — сказал, обобщая тему заседания президиума Академии наук, академик РАН **В.Е. Фортов**. — Это даёт большие преимуще-

ства атомной энергетике, но недостаток данного вида энергии состоит в том, что даже малые отклонения от штатного режима, помноженные на высокую калорийность ядерного топлива, делают эти отклонения экспоненциально опасными”.

Атомная энергетика долго находилась под огнём СМИ, продолжил он, вспоминая 1988 г., когда на фоне ещё не утихшей дискуссии вокруг катастрофы в Чернобыле именно с целью изучения её причин и последствий, а также выработки рекомендаций для предотвращения новых подобных аварий был создан ИБРАЭ РАН. Тогда на первое заседание Научно-технического совета народу пришло в два раза больше, чем сейчас на заседание президиума РАН. Причём 90% собравшихся были настроены против атомной энергетики.

За три десятилетия работы Института проблем безопасного развития атомной энергетики общественное мнение изменилось: люди заняли более взвешенную позицию. Найдено положение равновесия, как выразился Владимир Евгеньевич. При этом он особо подчеркнул, что сегодня на заседании дано трезвое, правильное научное обоснование экономических, технологических перспектив атомной энергетики и состояния работ в области радиационной безопасности. Атомная энергетика заняла достойное место в экономике страны — в этом большая заслуга Академии наук, ИБРАЭ РАН и его бессменного руководителя академика Л.А. Большова.